



ESCOLA NAVAL

ta sante e bi-faire



Miguel José Costa e Nora Lopes Nunes

***Aplicação de Ligas com Memória de Forma como Dispositivos de
Segurança***

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,
na especialidade de Engenheiros Navais - Ramo de Mecânica**



Alfeite

2016



Miguel José Costa e Nora Lopes Nunes

***Aplicação de Ligas com Memória de Forma como Dispositivos de
Segurança***

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na
especialidade de Engenharia Naval Ramo de Mecânica**

Orientação de: Professor Doutor Francisco Manuel Braz Fernandes

Co-orientação de: Capitão-de-Fragata Engenheiro Naval Pedro Jorge Mota Duarte

O Aluno Mestrando,

O Orientador,

ASPOF EN-MEC Lopes Nunes

Professor Doutor Braz Fernandes

Alfeite

2016

Epígrafe

*Ó mar salgado, quanto do teu sal
São lágrimas de Portugal!
Por te cruzarmos, quantas mães choraram,
Quantos filhos em vão rezaram!
Quantas noivas ficaram por casar
Para que fosses nosso, ó mar!*

*Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.*

*Triste de quem vive em casa,
Contente com o seu lar,
Sem que um sonho, no erguer de asa
Faça até mais rubra a brasa
Da lareira a abandonar!*

Fernando Pessoa in Mensagem 1934

Agradecimentos

A concretização desta dissertação teve o apoio de muitas pessoas, às quais não poderia de maneira nenhuma deixar de demonstrar o meu total reconhecimento por todo o tempo e apoio que me disponibilizaram ao longo da realização da mesma.

Em primeiro lugar, queria agradecer ao Sr. Professor Doutor Braz Fernandes pela disponibilidade na orientação da minha dissertação, pelo apoio de conhecimento na área de materiais e por todas as sugestões que me foi dando e que foram essenciais para o desenvolvimento do trabalho. A ele se deve toda a parte de ensaios realizados ao longo deste trabalho e a cedência dos atuadores.

Quero também agradecer a todos os que de alguma maneira contribuíram com os seus conhecimentos, disponibilidade, reflexões e sugestões para a elaboração do presente trabalho, referindo-os em seguida de forma individual.

Agradeço ao João Pedro Oliveira e à Andreia Lopes, pelo auxílio na utilização da máquina de tração da FCT-UNL (Faculdade de Ciências e Tecnologia) e pela montagem final do mecanismo.

Ao Engenheiro Arquiteto Construtor Naval (ACN) Capitão-de-Fragata Mota Duarte pelo apoio e disponibilidade total no planeamento, desenho, construção e teste do mecanismo e por todas as sugestões que tornaram possível o desenvolvimento do mesmo. Sem esta preciosa ajuda teria sido impossível a realização da parte prática.

Ao 1º Sargento Maquinista Naval (MQ) Soares Martinho e a todos os elementos da oficina da Escola Naval (EN), que me auxiliaram no apoio oficial para a construção do mecanismo.

Ao Engenheiro 1º Tenente Carvalho Xavier pela disponibilidade e apoio teórico, dados sobre a Teoria de Incêndios e a sua componente prática no DLA-ETNA (Departamento de Limitação de Avarias - Escola de Tecnologias Navais da Armada).

Ao Engenheiro ACN Capitão-de-Fragata Pires da Silva agradeço a solução que me deu para diversas questões, o que me permitiu prosseguir com êxito na construção do mecanismo.

Ao Engenheiro Capitão-de-Fragata Ribeiro Parreira e ao Engenheiro Fernando Costa pela disponibilidade da utilização das instalações do Arsenal do Alfeite S.A. (AA) e de todo o material, com vista à realização dos testes do Dinamómetro.

Ao Professor Rui Martins da FCT – UNL pelo apoio e sugestões dados em toda a componente de Desenho Técnico, que permitiram uma melhor visualização do mecanismo.

Finalmente, não poderia deixar de agradecer à minha família, por compreenderem a minha ausência e por toda a contribuição e apoio demonstrado, em especial à minha mãe pela ajuda na revisão final do texto, com correções e sugestões que o tornaram mais claro.

Resumo

As ligas com memória de forma Ni-Ti apresentam diversas características bastante úteis, das quais podemos realçar a sua elevada resistência à corrosão, às vibrações e geração de forças superiores quando comparadas com outros atuadores. Estas ligas apresentam diversas áreas de aplicabilidade em diferentes áreas de pesquisa, como a metalomecânica, a robótica, aplicações espaciais, sendo mais relevante para este trabalho a sua aplicação em mecanismos de segurança para portas e acessos.

Com este trabalho, pretendemos contribuir para uma forma eficaz de combate e contenção de incêndios em navios, através da apresentação de um mecanismo que vai permitir o corte de ventilação e isolamento no local do incêndio, permitindo criar uma fronteira de fumos que levará ao combate do incêndio por asfixia.

O trabalho descreve um mecanismo idealizado com a utilização de ligas com memória de forma, que vai proceder à libertação de um flap, para isolamento da ventilação, na presença de temperatura proveniente do incêndio. Descreve também ensaios termomecânicos realizados, para determinação das características das molas e seu comportamento em determinadas situações chave. Para isto, irão ser utilizadas duas molas com diferentes gamas de temperatura, com o intuito de demonstrar a eficácia na utilização de diversos atuadores de ligas com memória de forma.

Todos os testes foram feitos na presença de gamas de temperatura que se assemelham aos valores de atuação dos sistemas automáticos de extinção por água, pelo que os resultados obtidos, ilustram a verdadeira eficácia e utilidade do mecanismo, em casos reais.

Palavras-chave: Ligas com memória de forma; Conduta de ventilação; Ni-Ti; Incêndio; Ensaio de Tração.

Abstract

Shape Memory Alloys such as Ni-Ti show several very useful characteristics, these can enhance its high resistance to corrosion, vibration, generating higher forces when compared with other actuators. These alloys have several areas of applicability in different areas of research such as metallomechanics, robotics, space applications, being most important for this work to its application in security mechanisms for doors and access.

Thus, with this work, we aim to contribute to an effective way of fighting and containment of fires on ships, by presenting a mechanism that will allow cutting of ventilation and insulation at the fire location, allowing to create a border smoke that may lead to fire extinguishing by suffocation.

This work describes a mechanism designed only by using memory alloy, which will carry the release of the ventilation flap in the presence of temperature from the fire. It also describes performed thermomechanical tests conducted to determine the characteristics of the springs and their behavior in certain key situations. For this, it will be used two springs with different activation temperatures in order to demonstrate the effectiveness of using different actuators of memory alloys.

All tests were done in the presence of temperature ranges which are similar to values obtained in automatic water extinguishing systems actuators, by the results obtained in order to show the true effectiveness and utility of the mechanism in actual cases.

Keywords: Shape memory alloys; Ventilation duct; Ni -Ti; Fire; Tensile tests.

Índice de Matérias

Epígrafe	I
Agradecimentos	III
Resumo	V
Abstract.....	VII
Índice de Matérias	IX
Índice de Figuras	XI
Lista de Tabelas	XV
Glossário de acrónimos	XVII
Nomenclatura.....	XIX
1. Introdução	1
2. Enquadramento Teórico	5
2.1. Teoria de Incêndios.....	6
2.2. Ligas com memória de forma	9
2.2.1. Ligas Ni-Ti	14
2.2.2. Estruturas da liga de Ni-Ti com EMF	16
2.2.3. Transformação Austenite-Martensite	19
2.3. Formas de aquecimento das LMF.....	23
2.4. Métodos de caracterização de uma liga com EMF	24
3. Materiais e Métodos	29
3.1. Materiais	30
3.2. Dimensionamento e Construção da conduta.....	31
3.3. Métodos de caracterização	41
3.3.1. Ensaaios Termomecânicos	41

3.3.1.1.	DSC – Calometria Diferencial de varrimento	41
3.3.1.2.	Ensaio de alongamento com recurso a travessão	43
3.3.1.3.	Maquete para testes	44
3.3.1.4.	Construção da maquete	44
3.3.1.5.	Ensaio mecânico de tração da máquina.....	47
3.3.2.	Dinamómetro	51
4.	Resultados e Discussão.....	53
4.1.	Ensaio Dinamómetro	53
4.2.	Caracterização termomecânica da mola.....	56
4.2.1.	Análise DSC de uma mola.....	56
4.2.2.	Análise de resultados do ensaio DSC	57
4.2.3.	Ensaio de Alongamento.....	57
4.3.	Resultados Ensaio de Tração.....	58
4.4.	Discussão dos ensaios	59
4.5.	Construção e teste de mecanismo completo	61
5.	Conclusões.....	65
5.1.	Caracterização da mola de liga Ni-Ti	65
5.2.	Conduta final.....	66
5.3.	Trabalhos futuros	67
6.	Bibliografia.....	69
7.	Apêndices	71
	Apêndice A	71
	Apêndice B	73
	Apêndice C	79
	Apêndice D	81
	Índice Desenhos Técnicos	81

Índice de Figuras

Figura 2.1 Ciclo térmico de transformação de fase, variação da extensão com a temperatura sujeitas a uma força constante.	10
Figura 2.2 Gammas de temperatura de transformações das diferentes ligas (adaptado de E. Patoor, M. Berveiller, “Technologie des Alliages à Mémoire de Forme”, Hermes, Paris, França, 1994).	13
Figura 2.3 Esquema da estrutura presente no sistema Ni-Ti a) Austenite, B2; b) Martensite B19'; c) Fase-R. (Fernandes 2012)	16
Figura 2.4 transformação martensítica, Resistência elétrica e a Curva de temperatura a) Transformação de B2 para B19'; b) transformação B2 para R para B19' (Otsuka e Ren, 2005).	18
Figura 2.5 Diagrama de equilíbrio Ni-Ti. (Adaptado a partir de Tang et al (1999)).	18
Figura 2.6 Esquema de transformação de fases; a) Cristal austenítico após aquecimento (fase mãe); b) Fase martensítica, variantes auto-acomodantes macladas, após arrefecimento; c) Fase martensítica auto-acomodante após deformação mecânica.	20
Figura 2.7 Esquema de trajeto termomecânico que permite a obtenção do efeito de memória de forma (Adaptado a partir de Patoor, Berveiller(1995)).	22
Figura 2.8 Métodos de aquecimento; a) Passagem de corrente; b) Aquecimento pelo auxílio de um arame; c) Radiação térmica (Huang 1998).	24
Figura 2.9 Ensaio DSC realizado sobre uma película fina de Ni-Ti, obtida por pulverização catódica (Fernandes, 2012).	25
Figura 2.10 Variação das temperaturas As, Af, Rs, Rf, Ms e Mf em função da temperatura de recozimento de uma liga Ni-Ti, rica em Ti (Fernandes, 2012).	26
Figura 2.11 Técnica de DRX. a) Identificação da sequência de transformação B2 => R => B19' entre 120°C e -180°C. b) Variação da intensidade difratada com a temperatura para películas finas de Ni-Ti obtidas por evaporação térmica. (Fernandes, 2012).	26
Figura 2.12 Ilustração do modo como as transformações de fases em ligas binárias de Ni-Ti podem ser identificadas a partir da resistividade elétrica.	27
Figura 2.13 Ilustração do modo como as transformações de fases em ligas binárias de Ni-Ti podem ser identificadas a partir dos ensaios de dilatométrica.	27

Figura 3.1 Fluxograma da metodologia para a realização do projeto	29
Figura 3.2 Mola A, comprimento mínimo 8,3 cm; Mola B, comprimento mínimo 3cm	31
Figura 3.3 Esquema da conduta final em SW.....	32
Figura 3.4 Localização da Conduta, SW 2014.....	33
Figura 3.5 Flap com Varão, SW 2014	34
Figura 3.6 Cinta do suporte do mecanismo, SW 2014	36
Figura 3.7 Esquema de todas as forças do mecanismo, lado esquerdo. Vista de cima em SW 2014, lado direito, onde se encontram representados os três pontos de apoio, que irão ser testados.	37
Figura 3.8 Chapa da mola na maquete, esquerda. Vista de frente chapa da mola, direita.....	39
Figura 3.9 Ponto de apoio da mola. Sw 2014	40
Figura 3.10 Fecho do Flap, SW 2014.	40
Figura 3.11 Equipamento DSC 204 F1 Phoenix do Cenimat FCT.....	42
Figura 3.12 Gráfico dos valores do alongamento do Travessão	43
Figura 3.13 Esquema da maquete. F Ponto do fecho do Flap, M Ponto da mola, ABC ponto de apoio, 1- Fixe da mola. Em cima encontra-se representada a vista de cima da maquete em SW14.	45
Figura 3.14 Chapa da mola no fixe em pormenor	46
Figura 3.15 Maquete para teste, SW 2014	46
Figura 3.16 Esquema do ensaio realizado na máquina de tração SHIMADZU Autigraph AG-G Séries do Cenimat. A-Maquete fixa nas garras 1-Pistola de ar quentes 2-Termopar	49
Figura 3.17 Esquema da Maquete para Ensaio de tração. 1- Garra Superior; 2- Garra Inferior; 3-Varão fixo a mola; 4- Mola fixa pela chapa no fixe da mola; 5-Pontos de Apoio; 6-Chapa de apoio.	50
Figura 3.18 Dinamómetro portátil com capacidade máxima de 30 kg	51
Figura 3.19 Esquema dos eixos das forças. A Azul, temos a componente vertical e a verde temos a componente horizontal.....	52
Figura 4.1 Esquema da componente vertical. A) vista pormenorizada do ponto de apoio.....	54
Figura 4.2 Esquema do cálculo da componente horizontal. D) representa a colocação do dinamómetro e o sentido da força que foi exercida na mola. F) representa o sentido do movimento da extremidade do varão para a queda do flpa.	55
Figura 4.3 Ensaio do Dinamómetro para calculo da componente vertical (esquerda) e para o cálculo da componente horizontal (direita).	53

Figura 4.6 Resultados de ambos os ensaios realizados com as amostras da mola A e mola B.	56
Figura 4.7 Resultados Ensaio de Travessão	57
Figura 4.8 Parâmetros que melhor condicionam o ensaio para a mola A.....	60
Figura 4.9 Parâmetros que melhor condicionam o ensaio para a mola A.....	61
Figura 4.10 Cinta com o Ponto de Apoio B e uma chapa de apoio para a alongamento inicial de 10mm para a mola A, SW 2014.	62
Figura 4.11 Conduta com mecanismo e mola para ensaio final, SW 2014	63
Figura 7.1 Ensaio de Travessão para a mola com alongamento inicial de 7,5mm.	71
Figura 7.2 Ensaio de Travessão para a mola com alongamento inicial de 10mm	71
Figura 7.3 Ensaio de Travessão para a mola com alongamento inicial de 15mm	72
Figura 7.4 Ensaio de Travessão com as três molas e respectivos valores das forças	72
Figura 7.5 Ensaio de tração, Ponto de apoio A e alongamento inicial da mola A de 0mm.....	73
Figura 7.6 Ensaio de tração, Ponto de apoio A e alongamento inicial da mola A de 10mm...	73
Figura 7.7 Ensaio de tração, Ponto de apoio A e alongamento inicial da mola A de 15mm...	74
Figura 7.8 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola A de 0mm	74
Figura 7.9 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola A de 10mm ...	75
Figura 7.10 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola A 15mm.....	75
Figura 7.11 Ensaio de tração, Ponto de apoio C e alongamento inicial da mola A de 0mm ...	76
Figura 7.12 Ensaio de tração, Ponto de apoio C e alongamento inicial da mola A de 10mm .	76
Figura 7.13 Ensaio de tração, Ponto de apoio C e alongamento inicial da mola A de 15mm .	77
Figura 7.14 Ensaio de tração, Ponto de apoio A e alongamento inicial da mola B de 15mm .	79
Figura 7.15 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola B de 10mm .	79
Figura 7.16 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola B de 15mm .	80
Figura 7.17 Ensaio de tração, Ponto de apoio C e alongamento inicial da mola B de 10mm .	80

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 Ligas com memória de forma.....	12
Tabela 2-2 Propriedades das ligas Ni-Ti com EMF (Fernandes 2012)	15
Tabela 3-1 Temperaturas de ativação dos Sprinklers (MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO INTERNA, 2011)	9
Tabela 3-2 Resumo das variáveis do mecanismo.....	37
Tabela 4-1 Resultados obtidos no ensaio do Dinamómetro	55
Tabela 4-2 Temperaturas de transformação das duas molas	56
Tabela 4-3 Valores das forças máximas obtidas	58
Tabela 4-4 Resultados dos vários ensaios de forças da mola A	58
Tabela 4-5 Resultados dos vários ensaios de forças da mola B.	59
Tabela 4-6 Tempo e Temperatura mínima para a atuação do mecanismo	62

Glossário de acrónimos

AA – Arsenal do Alfeite S.A.

ACN – Arquiteto Construtor Naval

BIR – Brigada de Intervenção Rápida

CENIMAT – Centro de Investigação de Materiais

DLA – Departamento de Limitação de Avarias

DRX- Difração de Raio X

DSC – Calometria Diferencial de Varrimento

EMF – Efeito de memória de forma

EN – Escola Naval

ETNA – Escola de Tecnologias Navais da Armada

FCT- UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

LMF - Ligas Memória de Forma

MQ – Maquinista Naval

SW 2014 – Solidworks Student Edition 2014

Nomenclatura

A_f – Temperatura de fim da transformação fase austenítica

A_s – Temperatura de início da transformação fase austenítica

Au – Ouro

Cd - Cádmio

Cu – Cobre

D – Distância entre o Ponto de Apoio e o Fecho

d – Distância entre a mola e o Ponto de Apoio

F_1 – Força resultante da compressão da mola

F_2 – Força exercida na extremidade do varão

δ_1 - Alongamento inicial da mola

δ_2 - Curso da extremidade do varão da mola

M_f – Temperatura de fim da transformação martensítica

M_s – Temperatura de início da transformação martensítica

Ni-Ti – Níquel e Titânio

R_f – Temperatura de fim da transformação da fase-R

R_s – Temperatura de início da formação da fase-R

T_0 – Temperatura crítica de início da transformação martensítica

T_i – Temperatura inicial

T_f – Temperatura final

UTS – Ultimate Tensile Strenght

Zn – Zinco

\dot{Q} – Caudal de fluído

σ - Tensão

1. Introdução

Os navios militares e civis, resultante da sua atividade operacional, possuem um elevado risco de incêndio. Um incêndio a bordo de um navio é uma situação potencialmente grave e com eventuais perdas de vida humana e materiais avultados. Torna-se então necessário ter dispositivos que consigam identificar, rapidamente e com precisão, o local e a causa do incêndio, para que seja possível executar uma contenção e um combate eficazes, no menor tempo possível.

A deteção de um incêndio a bordo pode ser feita através de detetores de fumos e por sensores de temperatura, que se encontram distribuídos por diversos compartimentos ao longo do navio. Existem ainda determinados compartimentos em que é necessário haver uma maior atenção devido ao seu conteúdo facilmente inflamável: espaços de máquinas, paióis de munições, paióis de tintas, porões de carga, etc. Nestes existe uma passagem periódica de alguém para assegurar que não existe nenhum problema porque, fruto da rápida propagação dos incêndios em presença de materiais combustíveis e do oxigénio, o seu combate torna-se difícil e bastante perigoso.

Os navios, por forma a possuírem um melhor aproveitamento do espaço e por motivos de segurança inerentes à sua estabilidade e flutuabilidade, encontram-se divididos em compartimentos, que conseguem impedir que incêndios ou outros sinistros se alastrem às restantes áreas do navio, criando assim uma barreira temporária de proteção. Conforme a situação da atividade operacional em que o navio se encontre, ou que se preveja que se venha a encontrar, há a necessidade de manter determinados acessos ao interior dos compartimentos fechados. Desta forma, se existir um rombo apenas ocorrerá um alagamento nos compartimentos que se encontrem abaixo da linha de água, devido à estanqueidade vertical/horizontal, impedindo assim que exista um alastramento do alagamento para outros compartimentos (MARINHA PORTUGUESA, 2011).

Quando um compartimento se encontra fechado (escotilha, acesso ou entrada), a única ligação que ocorre entre o interior e o seu exterior é através da conduta de ventilação e do sistema de ar condicionado. As condutas de ventilação, constituídas por ventiladores e extratores, alimentam e extraem o ar do interior do compartimento, tendo um trabalho de renovação sem que ocorra um tratamento específico do ar.

Por sua vez, o ar condicionado tem o intuito de interferir com condições de climatização específicas no interior do compartimento, dado que consegue manter uma temperatura e uma humidade relativa dentro de determinados parâmetros. Estes variam conforme o material que existe no compartimento, devendo ter em atenção a existência de materiais facilmente inflamáveis. (MARINHA PORTUGUESA, 2013).

As causas mais comuns para um incêndio a bordo são a eletricidade estática, corrente elétrica, líquidos ou gases inflamáveis, aquecimento de material, combustões espontâneas, imprudência e negligência diversa.

Atualmente os navios conseguem cortar o sistema de ventilação de um compartimento manualmente, este é efetuado a partir de determinados locais do navio. Este fecho, em certos casos, poderá ser feito eletricamente e isola a ventilação para uma determinada zona do navio, impedindo assim que em caso de incêndio, exista um alastramento de fumos para outras regiões dos navios. O principal problema é o tempo que corre entre a deteção do incêndio, o corte de ventilação e a respetiva contenção para não existir um alastramento. Acrescido a este problema, encontra-se o facto de os próprios sensores, sendo elétricos, terem por vezes alguma avaria ou falha, inerente à sua componente elétrica.

Num incêndio, os fumos que são produzidos pela combustão geram por vezes situações muito graves. A inalação dos fumos é um risco acrescido à vida humana, sendo de realçar que a principal causa de morte e necessidade de internamento de indivíduos expostos a incêndios ocorre pela asfixia originada pela inalação de fumos. Apenas 20% das mortes associadas aos incêndios são resultantes da exposição térmica (Pinheiro, 2014).

Segundo o “Safety and Shipping Review” de 2015, as principais causas de perdas humanas e materiais entre janeiro de 2005 e dezembro de 2014 foram colisões, alagamentos internos e incêndios a bordo. Sendo também de realçar que certos incidentes resultantes da propagação de incêndios se deveram ao facto de o navio não ter medidas de combate a incêndios, o que não permitiu a sua rápida extinção quer por ação do navio, quer por ação portuária quando este se encontrava atracado num porto. É necessário que os navios tenham no seu interior possibilidades de impedir a propagação, contenção e exercer o combate ao incêndio, sem ajudas externas (Dobie, 2015).

A existência de um sistema redundante, de fecho rápido e automático de ventilação/ar condicionado, vai permitir que não exista um alastramento de fumos para outros compartimentos do navio através das condutas de ventilação. Isto levará também a uma possível extinção do incêndio por asfixia, levando o incêndio a extinguir-se pela falta de comburente, podendo não ser necessário qualquer intervenção humana.

Este sistema terá que ser composto por um mecanismo de atuação mecânica, totalmente independente de qualquer componente de energia elétrica, o que irá permitir a sua operacionalidade em caso de inexistência de eletricidade. Deverá também possuir uma elevada resistência à corrosão, gerada pela proximidade do mar, e também terá que conseguir manter a sua integridade quando sujeito às vibrações geradas pelo navio.

Através de diversos conhecimentos de engenharia, entendemos que o melhor material a utilizar na construção deste sistema serão as LMF (ligas com memória de forma). As ligas com memória de forma são um conjunto de materiais que conseguem alterar a sua forma quando estão na presença de um determinado estímulo externo. Estes materiais não necessitam de corrente elétrica para serem ativados, sendo então são estimulados pelo aumento da temperatura, que poderá ser alterada dependendo do tipo de liga que seja utilizada, para que seja possível, adaptar este mecanismo a diversos compartimentos, que se encontram com diferentes temperaturas ambientes (espaço de máquinas).

Estas ligas podem ser utilizadas de forma muito eficaz num mecanismo a ser colocado ao nível do fecho da ventilação, que seria apenas despoletado quando existisse um aumento da temperatura, gerado pelo incêndio, no interior do compartimento. Este fecho de ventilação será feito pela libertação de um flap que, ao cair, irá vedar a conduta de ventilação, impedindo a insuflação de ar para o interior do compartimento. Desta forma, o combate ao incêndio seria feito por asfixia, por eliminação do comburente. Se o sistema possuir uma rapidez e precisão certas para o combate ao incêndio, poderá não ser necessário qualquer intervenção humana para o extinguir.

Após uma descida da temperatura para níveis aceitáveis, a ventilação seria novamente estabelecida, com o retorno do flap à sua posição inicial, feito manualmente, e o mecanismo estaria preparado para uma nova utilização.

A escolha da utilização destes atuadores deve-se às manifestas vantagens que apresentam, tanto na sua resistência como no seu modo de atuar, bem como às inúmeras aplicações e potencial que irão ter no futuro.

As principais vantagens descritas por Fernandes (2012) e Humbeeck (1999) na aplicação destes atuadores são:

- Possuem uma relação de força/peso mais elevada, quando comparada com os outros atuadores;
- Possuem um modo de instalação e substituição fácil, neste caso sendo uma mola Ni-Ti ((Níquel e Titânio);
- São fiáveis;
- São resistentes às vibrações;
- Resistentes à corrosão, semelhantes aos aços inox AISI 300;
- Gama de temperatura entre -50°C e 110°C para as molas Ni-Ti;
- Ação rápida originada pela temperatura;
- Responde satisfatoriamente ao desgaste abrasivo.

As principais desvantagens para estes atuadores, quando comparados com os atuadores convencionais são:

- Custo demasiado elevado comparado com os sistemas clássicos;
- Curso reduzido da mola;
- Mola possui uma força reduzida (mais ou menos 1kg/mola);
- Maquinagem difícil e cara;

Neste trabalho iremos precisamente analisar o comportamento e a viabilidade, de um mecanismo construído com estes atuadores, para depois proceder à avaliação das suas vantagens na aplicação generalizada, como método de prevenção e combate a incêndios em navios.

2. Enquadramento Teórico

Nas últimas décadas tem sido desenvolvido um grande interesse sobre as potencialidades dos materiais com memória de forma em diversas áreas científicas. Estes materiais têm a característica de retomar a forma ou o tamanho que possuíam quando sujeitos a um ciclo térmico apropriado (Fernandes 2012).

Nos navios existem dois tipos de sensores: os sensores de temperatura, que ativam o alarme quando a temperatura do compartimento atinge determinados valores (exemplo paiol de Torpedos) e os sensores de fumo, que vão reagir apenas perante a existência de fumos dentro do compartimento (exemplo de gabinetes com computadores ou material elétrico).

Numa situação de incêndio, quando é dado o alarme, é efetuado o corte da ventilação, impedindo assim a propagação dos gases/fumos para outros compartimentos e impossibilitando a entrada de ar (comburente) no compartimento. O incêndio é inicialmente combatido por um grupo de pessoas com formação e funções específicas para combater o incêndio, a que damos o nome de BIR (Brigada de Intervenção Rápida). Se o compartimento se encontrar fechado, é necessário que seja efetuada uma abertura lenta da entrada, para impedir o fenómeno de *Backdraft*, que é originado pela rápida admissão de ar no interior do compartimento o que vai/pode gerar uma explosão. Em determinados compartimentos, que possuam material facilmente inflamável ou explosivo (espaço de máquinas, paiol das tintas ou paiol de munições), existem sistemas fixos de extinção de incêndios que são utilizados quando fica impossibilitado o combate de incêndio por elementos da guarnição. Um exemplo destes é o disparo de um gás nocivo para a saúde, mas bastante eficaz na extinção do incêndio, o gás Halon.

Para o combate ao incêndio, através de sistemas fixos, utilizando as ligas com memória de forma, têm-se desenvolvido válvulas com memória de forma que atuam nos *Sprinklers* (pulverizadores de libertação de água que se encontram sob pressão num circuito). Estas válvulas são constituídas por materiais que se expandem na presença de uma determinada gama de temperaturas (temperatura de ativação), realizando a sua abertura.

Quando a temperatura diminui para um determinado valor, o material retrai fechando assim o circuito de água, contrariamente aos sistemas convencionais em que uma vez ativada a válvula fica impossível o seu fecho.

Este sistema possui um menor número de peças que os *Sprinklers* convencionais, requerendo uma manutenção mais espaçada no tempo. É também possível definir a gama de temperatura à qual a válvula vai reagir. Não é necessário um fecho manual do sistema, contrariamente ao que é executado nos navios, sendo totalmente automatizado (US Patente No. 8,684,101, 2014).

Foi efetuado um estudo sobre a aplicabilidade destes materiais com memória de forma em equipamentos de combate a incêndio dos Bombeiros. Estes materiais vão ter um comportamento variado conforme a gama de temperaturas a que estejam expostos. Têm como finalidade aumentar a entrada de oxigénio nas válvulas de respiração, na presença de elevadas temperaturas, tendo como finalidade facilitar a respiração do utilizador durante o combate ao incêndio na presença de elevadas temperaturas, sendo possível prolongar a permanência do utilizador em espaços confinados e com elevadas temperaturas (White, 2012).

O presente estudo focou-se na análise da viabilidade na aplicação de ligas com memória de forma, num mecanismo de corte de ventilação automático, utilizando molas de Ni-Ti com propriedades de memória de forma como atuadores do mecanismo, com o intuito de facilitar o combate e extinção de um incêndio a bordo de um navio.

2.1. Teoria de Incêndios

Um incêndio a bordo de um navio poderá tornar-se numa catástrofe se não for rapidamente prevenido e extinto. É uma situação potencialmente grave e com eventuais perdas de vida humana e materiais avultados. O incêndio a bordo dos navios é a terceira maior causa que origina acidentes navais, sendo a primeira causa o alagamento e a segunda o encalhe. Existe então a necessidade de haver conhecimentos gerais sobre as origens dos incêndios, a sua propagação e métodos de combate. Segundo Dobie em “Safety and Shipping Review 2015”, em desastres marítimos em que o valor de danos foi superior a 1 milhão de euros, 16% do total dessas perdas foram devido a incêndios a bordo dos navios. (DOBIE, 2015)

Para a ocorrência de um incêndio é necessário a existência de quatro fatores fundamentais: combustível, comburente, energia de ativação e reação em cadeia. Estes parâmetros são conhecidos como o Tetraedro do Fogo.

O efeito de extinção dar-se-á pela remoção de um ou mais destes componentes do tetraedro, através dos seguintes mecanismos:

- Arrefecimento, diminuição da temperatura do combustível e envolvente que vai reduzir a energia de ativação;
- Asfixia, redução ou eliminação do comburente;
- Carência, redução ou eliminação do combustível;
- Inibição, interrupção da reação em cadeia.

As causas mais comuns para originar um incêndio a bordo são a eletricidade estática, corrente elétrica, líquidos ou gases inflamáveis, aquecimento de material, combustões espontâneas e imprudência e negligência diversa.

Se não ocorrer a abertura de um acesso, um incêndio irá consumir todo o oxigénio (comburente) existente no compartimento, extinguindo-se por si, sem que seja necessário recorrer a qualquer ação. Contrariamente, se ocorrer a abertura de um acesso ao compartimento, vai acontecer o *Backdraft*, que é o resultado de uma rápida admissão de oxigénio, esta fará desencadear uma explosão fazendo com que o incêndio tome proporções maiores, dificultando assim a sua extinção e podendo alastrar-se para outros compartimentos.

Os produtos da combustão podem agrupar-se em dois grandes grupos que são o grupo dos gases e fumos resultantes da combustão e o grupo do calor e chamas.

Num incêndio, o principal problema é a inalação dos fumos resultantes da combustão, sendo que apenas 20% das mortes associadas aos incêndios são resultantes da exposição térmica, estando esta consequência associada ao grupo calor e chamas.

O monóxido de carbono é o principal causador de vítimas nos incêndios. Este gás é tóxico, incolor, indolor e insípido e uma inalação excessiva deste gás conduz a uma intoxicação grave identificável pelos seguintes sintomas: inicia-se por ligeiras alterações da visão, seguidas de vertigens e de sonolência que rapidamente provocam uma impotência muscular conduzindo o indivíduo a um coma e à morte se não for socorrido e tratado atempadamente. Esta situação está integrada no grupo dos gases e fumos.

A detecção de um incêndio a bordo pode ser feita através de sensores de incêndio e de sensores de temperatura, que se encontram distribuídos por diversos compartimentos ao longo do navio, existindo ainda determinados compartimentos em que é necessário existir uma maior atenção devido ao seu conteúdo, composto por materiais facilmente inflamáveis. Nestes compartimentos, existe uma passagem periódica de alguém para assegurar que não existe nenhum problema. Incluem-se neste tipo de compartimentos os espaços de máquinas, paióis de munições, paióis de tintas, porões de carga, etc, que geram a rápida propagação dos incêndios na presença de materiais combustíveis e do oxigénio, tornando o seu combate difícil e bastante perigoso. (MARINHA PORTUGUESA, 2009) São por isso locais que exigem uma atenção especial no que toca à instalação de combate a incêndios mais eficaz.

Os mecanismos fixos de combate ao incêndio possuem determinadas temperaturas de ativação. Estes mecanismos são os Sprinklers e possuem dois métodos de ativação, os Termofusíveis e as Ampolas.

Os primeiros são constituídos por uma liga metálica que funde a uma determinada temperatura, procedendo à libertação da água para o exterior. As ampolas, de vidro, contêm um líquido com elevado coeficiente de dilatação que vai reagir a uma determinada gama de temperatura, procedendo à destruição do vidro e à abertura da água para o exterior. (MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO INTERNA, 2011).

Tabela 2-1 Temperaturas de ativação dos Sprinklers (MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO INTERNA, 2011)

Ampola		Termofusível	
Temperatura	Cor do líquido	Temperatura	Cor (Marca nos Sprinklers)
57°C	Laranja	-	-
68°C	Vermelho	68°C a 74°C	Sem cor
79°C	Amarelo	-	-
93°C	Verde	93°C a 100°C	Branco
141°C	Azul	141°C	Azul
182°C	Roxo	182°C	Amarelo
204 a 260 °C	Preto	227°C	Vermelho

2.2. Ligas com memória de forma

As ligas com memória de forma são materiais que conseguem “memorizar” e recuperar a sua forma original, mesmo sendo sujeitos a uma grande deformação.

O efeito de memória de forma (EMF) está associado a uma transformação de fase.

As matrizes das ligas Ni-Ti apresentam duas etapas de temperatura: uma etapa de alta temperatura denominada austenite e outra de baixa temperatura denominada martensite. Cada uma destas fases é caracterizada por ser estável dentro de diferentes gamas de temperatura, permitindo assim a variação de propriedades e obter o EMF ou uma Superelasticidade. (Fernandes, 2003).

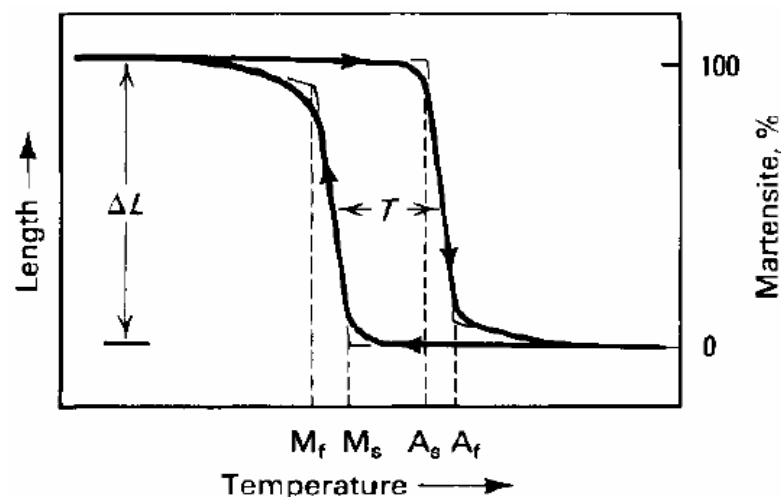


Figura 2.1 Ciclo térmico de transformação de fase, variação da extensão com a temperatura sujeita a uma força constante.

Na Figura 2.1, está representado o ciclo térmico de transformação de fase. Nesta figura encontram-se representadas cinco parâmetros.

- A_s - Temperatura de início da transformação austenítica;
- A_f - Temperatura de fim da transformação austenítica;
- M_s -Temperatura de início da transformação martensítica;
- M_f - Temperatura de fim da transformação martensítica.
- ΔL – Variação de comprimento.

O efeito de memória de forma é um fenómeno em que a liga é deformada a uma temperatura abaixo de A_s e recupera a totalidade da sua forma original em virtude de um aquecimento a uma temperatura superior a A_f . Esta característica deve-se ao facto de a liga se encontrar sujeita a uma deformação no estado martensítico, arrefecimento, e de seguida ocorre um aquecimento, estado austenítico. Este estado tem como temperatura final uma temperatura superior à temperatura austenítica (A_f), isto é, a temperatura em que a sua forma inicial é totalmente recuperada. As ligas com memória de forma apresentam uma ductilidade superior no estado martensítico, visto que no estado austenítico possuem uma dureza e um módulo de Young superiores. (Fernandes 2012; Huang, 1998).

A ativação do EMF num material com memória de forma ocorre através de uma transformação cristalográfica em que as propriedades micro estruturais do material transitam do estado martensítico para o estado austenítico.

As ligas com memória de forma podem ser caracterizadas em dois tipos:

- *One-way Shape Memory*, efeito de memória simples em que as ligas manifestam o efeito de memória de forma apenas no sentido da transformação martensite-austenite (aquecimento).
- *Two-way Shape Memory*, efeito de memória de forma dupla em que, para além do efeito de memória simples, ocorre também no sentido da transformação austenite-martensite (aquecimento e arrefecimento).

Para este projeto será utilizada uma liga de memória simples. Esta escolha justifica-se por haver uma maior facilidade de “treinar” a mola para o efeito simples e também pelo facto de existir uma maior extensão permitida para este efeito num só sentido (martensite - austenite).

Das diversas ligas referidas na literatura são de realçar as seguintes:

Tabela 2-2 Ligas com memória de forma, Fernandes 2012.

Ligas	Composição	Gama de temperaturas de transformação (°C)	Histerese (térmica) de transformação (°C)
Ag-Cd	44/49 at % Cd	-190 a -50	~15
Au-Cd	46,5/50 at % Cd	30 a 100	~15
Cu-Al-Ni	12/14,5 wt% Al 3 /4 wt% Ni ¾,5 wt % Ni	-140 a 100	~35
Cu-Sn	~15 at.% Sn	-120 a 30	
Cu-Zn	38,5/41,5 wt% Zn	-180 a -10	~10
Cu-Zn-X (X= Si, Sn, Al)	< 5 wt% X	-180 a 200	~10
In-Ti	18/23 at % Ti	60 a 100	~4
Ni-Al	36/38 at % Al	-180 a 100	~10
Ni-Ti	49/51 at % Ni	-50 a 110	~30
Ni-Ti-Hf	Ni _{49,8} Ti _{50,2-x} Hf _x	100 a 300	~50
Fe-Pt	25 at.% Pt	-130	~4
Mn-Cu	5/35 at.% Cu	-250 a 180	~25
Fe-Mn-Si	32 wt% Mn, 6 wt% Si	-200 a 150	~100
Nb-Ru-Fe	Nb ₅₀ Ru ₅₀ , Nb ₅₀ Ru ₄₃ Fe ₇ , Nb ₅₀ Ru ₃₆ Fe ₁₄	600 a 900	~50

No mercado, as ligas com tempo de vida útil, força produzida e comercialmente mais viáveis são as ligas de Ni-Ti e de Ni-Ti-Cu, sendo de salientar o fato de ambas terem propriedades mecânicas bastante distintas.

As ligas Ni-Ti apresentam uma recuperação total da sua forma original, após terem sido deformadas até cerca de 8%, contrariamente às ligas de Cu (Cobre) que apenas apresentam recuperações na ordem de 4% a 5%. As ligas Ni-Ti apresentam uma maior ductilidade e uma resistência à corrosão bastante superior às de Cu, sendo estas as principais diferenças entre elas (Fernandes 2012).

A primeira chamada de atenção para as propriedades singulares dos materiais com efeito de memória de forma foi feita por A. Olander em 1932, no âmbito do seu estudo do comportamento eletroquímico (acima de 340°C) do sistema Au-Cd (Ouro e Cádmiio). Neste estudo foi constatado que a liga constituída por 47,5% Cd apresentava uma elasticidade semelhante à de uma borracha considerada anormal para um material metálico.

Grenning & Mooradian (1938), numa experiência com uma liga de Cu-Zn (Cobre e zinco), descobriram que, diminuindo e aumentando a temperatura, seria possível a formação e o desaparecimento da martensite, respetivamente. Contudo, só em 1949 através de Kurdjumov & Khandros, o efeito com memória de forma começou a tentar ser clarificado, sendo depois continuado por Chang e Read, em 1951, numa barra de AuCd (Au-47,5 at%Cd). Posteriormente, só em 1962 foi descoberto o EMF numa liga equiatômica de Ni-Ti por Willimas J. Buehler Kauffman & Mayo, tendo desde então os aspetos relativamente às potenciais aplicações práticas na metalurgia começado a despertar um enorme interesse.

No espaço de 10 anos foram bastante intensificados o estudo e a comercialização dos materiais com memória de forma, sendo de realçar diversas áreas de estudo como a aviação, aplicações em construção espaciais, robótica, metalomecânica entre outras. (Otsuka e Wayman, 2002; Fernandes, 2012).

Na Figura 2.2 encontram-se representadas diversas ligas e as respetivas gamas de transformação.

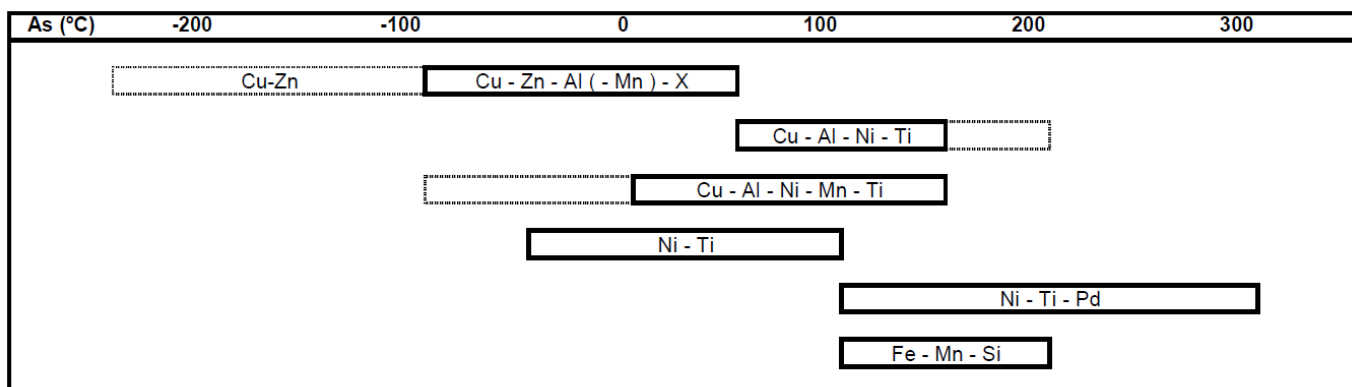


Figura 2.2 Gamas de temperatura de transformações das diferentes ligas (adaptado de E. Patoor, M. Berveiller, “Technologie des Alliages à Mémoire de Forme”, Hermes, Paris, França, 1994).

2.2.1. Ligas Ni-Ti

As ligas Ni-Ti são um composto intermetálico aproximadamente equiatômico de Níquel e Titânio e, entre todas as ligas com memória de forma, são as que tiveram uma maior incidência no respectivo estudo, sendo bastante utilizadas em aplicações comerciais. Estas ligas apresentam um EMF bastante acentuado, quer as simples (One-way Shape Memory) quer as de efeito de memória de forma dupla (Two-way Shape Memory), e apresentam um comportamento elástico nas condições adequadas, o que faz com que seja possível a sua aplicação em diversas situações.

Estas ligas apresentam uma grande resistência à corrosão e possuem uma solubilidade que permite a associação de outros elementos com a modificação das suas características mecânicas e da sua temperatura de transformação de fase. É frequente a adição de Ni até 51%, com ferro ou crómio sendo utilizados para a diminuição da gama de temperatura da transformação. A adição de cobre permite obter uma redução da histerese da transformação de fases e a tensão de deformação da martensite (Fernandes, 2013; Lagoudas 2008).

As propriedades gerais das ligas encontram-se descritas na seguinte tabela:

Tabela 2-3 Propriedades das ligas Ni-Ti com EMF (Fernandes 2012)

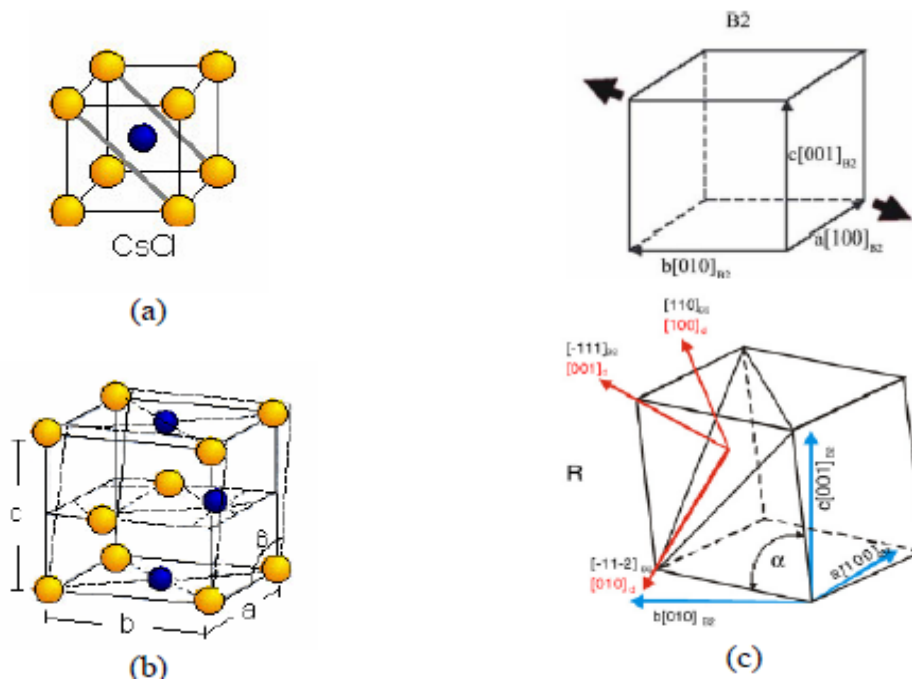
Propriedades térmicas	
Ponto de fusão (°C)	~1300
Densidade (g/cm ³)	6,45
Resistividade ($\eta\Omega \cdot \text{cm}$)	
Austenite	100
Martensite	70
Condutividade elétrica (W /m.K)	
Austenite	18
Martensite	8,5
Capacidade calorífica (J / kg. K)	400
Propriedades mecânicas	
Módulo de Young (GPa)	
Austenite	~80
Martensite	25 a 40
Tensão de cedência (MPa)	
Austenite	195 a 690
Martensite	70 a 140
UTS (Ultimate Tensile Strenght) no estado recozido (MPa)	895
UTS no estado encruado (MPa)	1900
Extensão até à rutura no estado recozido (%)	25 a 50
Extensão até à rutura no estado encruzado (%)	5 a 10
Propriedades características do efeito de memória de forma	
Temperaturas de transformação (°C)	-200 a 110
Deformação recuperável (%)	8,5
Histerese (°C)	15 a 25
Resistência à corrosão	Excelente. Semelhante à dos aços inox da série AISI 300

2.2.2. Estruturas da liga de Ni-Ti com EMF

A austenite é a fase de maior temperatura, apresentando uma estrutura do tipo cúbica de corpo centrado (BCC) que se encontra ordenada (B2) com $a_0=0,3015\text{nm}$. A fase resultante do arrefecimento da austenite, a martensite, é uma estrutura monoclinica B19' com $a=0,2889\text{nm}$, $b=0,4120\text{nm}$ e $c=0,4622\text{nm}$. Nesta estrutura possui um $\beta=96,8^\circ$, Figura 2.3.

A martensite apresenta uma estrutura constituída por um empacotamento de variantes auto-acomodantes, macladas entre si. Existe uma correlação entre a orientação dos cristais constituintes da austenite local e os cristais da martensite vizinhos.

A liga de Ni-Ti apenas pode ter 12 variantes de martensite possíveis de serem formadas. As variantes são cristalograficamente semelhantes, possuindo diferentes planos de corte e orientações, permitindo assim uma minimização das tensões internas. Esta ausência de tensões internas vai evitar a ocorrência de deformações macroscópicas da liga durante o seu arrefecimento, com o intuito de permitir assim acomodar as diversas deformações que irão surgir. (Huang, 1998; Fernandes 2012; Augusto 2013).



Em determinadas condições de tratamento termomecânico, pode surgir uma estrutura intermédia conhecida como Fase-R. Para que exista esta etapa durante a transformação direta, é necessário que o recozimento a que a liga é submetida nunca ultrapasse os 450°C.

Esta fase poderá ocorrer com a verificação de umas das seguintes condições:

- Encontra-se presente em ligas enriquecidas em Ni, caso exista um tratamento com envelhecimento térmico a uma temperatura de 400°C, originando Ni_4Ti_3 ;
- Através de recozimento após deformação por laminagem ou trefilagem a baixas temperaturas, originando uma reorganização da estrutura;
- Poderá formar-se em ligas em que o Ni foi parcialmente substituído por outros elementos como Al, Cu ou Fe (Otsuka e Ren, 2005).

A Fase-R é uma transformação martensítica e termoelástica e precede a transformação da martensite B19' em ligas equiatómicas Ni-Ti. Esta fase intermédia aparece devido à distorção da fase B2 na direção $\langle 111 \rangle$ e esta transformação é acompanhada pelo aumento da resistência elétrica. Esta fase possui uma reduzida histerese térmica, que poderá ser vantajosa, possui também uma deformação recuperável por EMF muito reduzida, sendo bastante negativo para o que é requerido. Finalmente, possui também uma reduzida tensão crítica, o que poderá ser positivo.

No entanto, a temperatura de histerese é muito pequena, tendo inúmeras aplicações enquanto sensores de temperatura. Se, no intervalo de arrefecimento, aparecer primeiro a fase B19' então a Fase-R já não ocorrerá.

Na Figura 2.4, é possível verificar a correlação existente entre a resistência elétrica e a variação de temperatura para as diferentes fases.

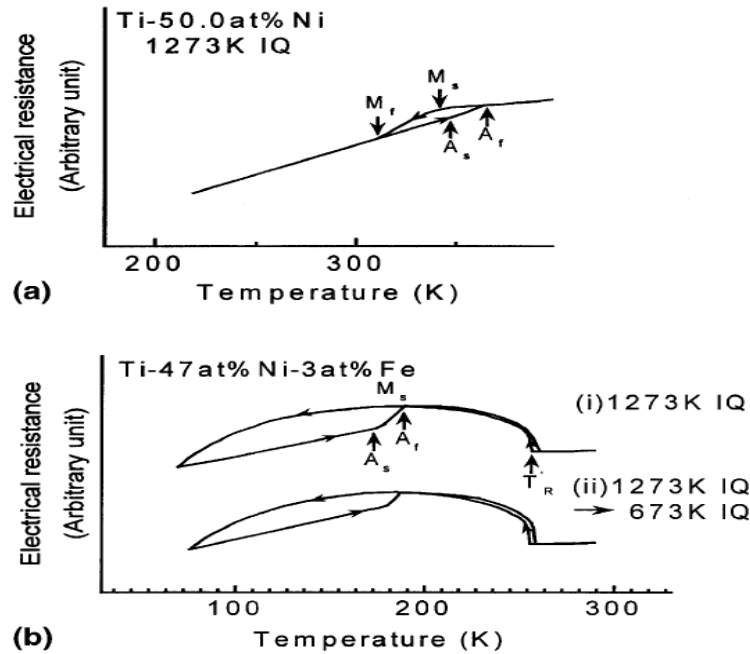


Figura 2.4 Transformação martensítica, Resistência elétrica e a Curva de temperatura a) Transformação de B2 para B19'; b) Transformação B2 para R para B19' (Otsuka e Ren, 2005)

O diagrama representado na Figura 2.5 permite-nos constatar que a fase austenítica tem uma maior extensão de solubilidade na região mais rica em Ni. Quanto maior for a temperatura, maior é a extensão de solubilidade da fase B2. Contrariamente, se a concentração de Ti for superior, não se verifica nenhuma variação relevante.

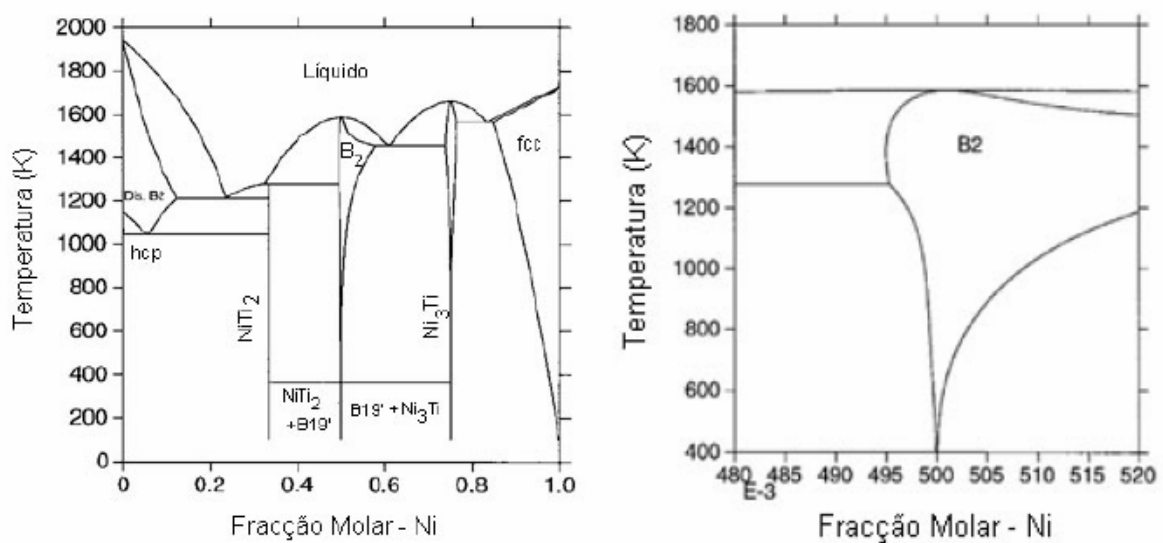


Figura 2.5 Diagrama de equilíbrio Ni-Ti. (Adaptado a partir de Tang et al (1999)).

As ligas com concentrações superiores de Ni apresentam uma variação mais acentuada das temperaturas de transformações. Pelo contrário, as ligas que têm uma concentração de Ti superiores têm uma menor variação das temperaturas de transformação. Para temperaturas vizinhas na ordem dos 300 °C a extensão do domínio de solubilidade na fase B2, vai ser bastante reduzida. Podemos concluir que as propriedades da liga Ni-Ti variam conforme a proporção dos elementos e os tratamentos termomecânicos (Otsuka e Ren, 2005; Otsuka e Wayman 2002;).

2.2.3. Transformação Austenite-Martensite

A transformação martensítica, no sentido de austenite para martensite e o seu inverso, está associada à alteração da sua estrutura, motivada por deformações de corte (deformação tangencial), que vai resultar num movimento de átomos. Esta transformação é devida ao diferencial de energia que existe entre as duas fases.

Sendo a termoelasticidade uma das principais características das ligas com EMF, é possível induzir a transformação martensítica por duas formas diferentes:

- Alteração da temperatura - termicamente;
- Aplicação de tensões externas - mecanicamente (Huang 1998).

Transformação Austenite < > Martensite induzida termicamente

As transformações induzidas termicamente possuem uma velocidade totalmente dependente da condutibilidade térmica. Desenvolvem-se ao longo de um grande intervalo térmico, sendo que a globalidade do fenómeno apenas ocorre num pequeno domínio de temperatura.

O valor de T_0 , temperatura crítica de início da transformação martensítica, pode ser obtido recorrendo à média entre as temperaturas A_f e M_s . Como já foi referido no capítulo anterior, a martensite é a fase de menor energia livre abaixo da temperatura T_0 , iniciando a transformação apenas em M_s , ligeiramente abaixo de T_0 , porque este desfasamento é devido a atritos internos.

O EMF é tanto mais eficiente quando menor for a histerese. Esta existe entre a gama de temperaturas M_f e A_s e entre as temperaturas M_s e A_f . Este fenómeno é verificado na fase de aquecimento e na fase de arrefecimento, respetivamente, Figura 2.6. O controlo da concentração de martensite é diretamente feito pela temperatura. Quando ocorre a estabilização da temperatura, a estrutura da liga também estabiliza. (Huang, 1998; Otsuka e Ren, 2005; Fernandes, 2013).

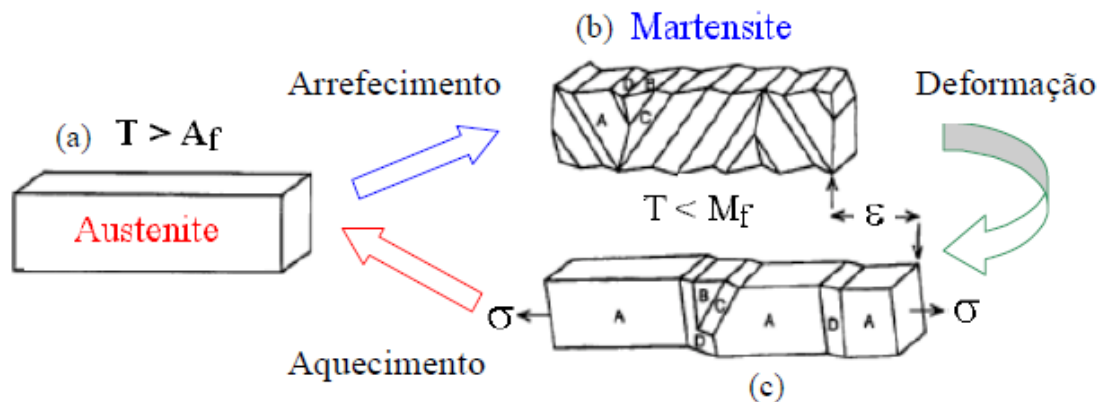


Figura 2.6 Esquema de transformação de fases; a) Cristal austenítico após aquecimento (fase mãe); b) Fase martensítica, variantes auto-acomodantes macladas, após arrefecimento; c) Fase martensítica auto-acomodante após deformação mecânica.

Iniciando-se o ciclo na fase austenítica, vai ocorrer uma transformação induzida termicamente através do arrefecimento, passando assim da fase mãe para a fase martensítica. Nesta etapa, não são visíveis deformações ao nível macroscópico, ocorrendo apenas ligeiras deformações devido aos fenómenos inerentes à expansão/contração originados pela variação da temperatura. A nível microscópico, como verificado na figura anterior, vai originar diversas variantes de martensite estruturalmente iguais. Estas variantes vão encontrar-se macladas e vão “arrumar-se” de maneira a que consigam manter o mínimo de tensões possível (mecanismo de auto-acomodação). É o que na Figura 2.6 está indicado como (a) para (b).

Quando uma estrutura auto-acomodante é sujeita a uma deformação, a variante que mais pode ser induzida a formar-se, originando uma deformação mais significativa segundo a direcção da solicitação aplicada, será aquela que vai ser estabilizada e que se tornará por isso dominante na configuração final.

Após a formação da martensite, vai ocorrer uma tensão de forma gradual σ , sofrendo uma deformação inicialmente elástica (tensão é proporcional à extensão) até atingir o seu limite elástico. Posteriormente, após a estabilização da tensão, é verificado um aumento da extensão. Este fenómeno deve-se à desmaclagem da martensite que se encontra maclada. Finalmente, a desmaclagem é acompanhada pelo aumento de tensão até se encontrar totalmente desmaclada, originando uma maior ordenação das variantes segundo a direção da deformação (na figura anterior de (b) para (c)).

Durante a transformação inversa, por aquecimento, na passagem da fase martensítica, após a deformação, para a fase austenítica, os movimentos dos átomos, que resultam de esforços de corte, vão conduzir a uma deformação homogénea da estrutura, sendo visível esta alteração macroscopicamente. Verifica-se assim que as fases austenítica e martensítica apresentam estruturas cristalográficas bastante diferentes.

Durante esta transformação inversa – da fase martensítica para a austenítica - existe um plano ao longo do qual não são observadas alterações entre as fases das duas temperaturas relativamente às componentes normais da deformação. Este plano é comum a ambas as fases, se tivermos em conta um plano de referência invariante, e nele todos os átomos têm um movimento proporcional, dependendo da distância a que se encontrem relativamente a este plano. Esta característica é própria da transformação martensítica global, directa e inversa.

A estrutura cristalina é alterada pelas deformações de rede invariante que intervêm na limitação de energia. Estes deslocamentos de rede invariante podem acontecer por maclagem ou por escorregamento induzido. Estas deformações de rede invariante tornam-se, assim, necessárias quando a energia associada à deformação homogénea se torna excessiva.

Para o estudo destes atuadores no mecanismo que nos propomos elaborar, em que é estudado o EMF na liga Ni-Ti e as temperaturas são superiores à temperatura ambiente, iremos considerar como relevantes as seguintes transformações:

- Austenite B2 \Leftrightarrow Martensite B19`;
- Austenite B2 \Leftrightarrow Fase R \Leftrightarrow Martensite B19`.

Memória de forma de simples (OWSME)

Como foi referido anteriormente, o EMF consiste na capacidade de uma liga com memória de forma recuperar a sua forma inicial. Para que ocorra este efeito, é necessário efetuar um trajeto de carregamento termomecânico, representado na Figura 2.7, com as seguintes características:

- Um arrefecimento, sem tensões aplicadas, a partir de uma determinada temperatura $T_i > A_f$ até que $T_f < M_f$;
- Para uma $T_f < M_f$ seja aplicada uma tensão σ crescente;
- Exista um reaquecimento até ser atingida uma $T_i > A_f$, sem tensão aplicada.

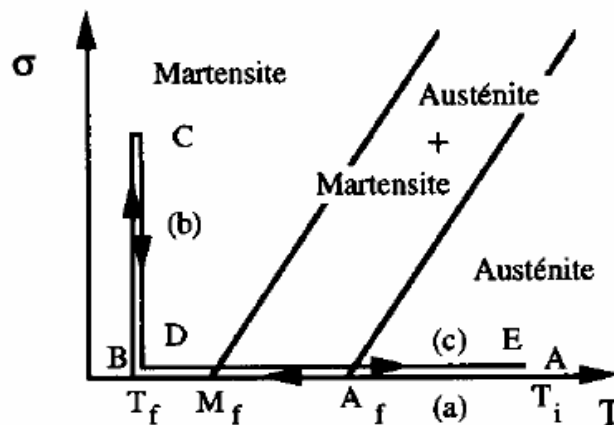


Figura 2.7 Esquema de trajeto termomecânico que permite a obtenção do efeito de memória de forma (Adaptado a partir de Patoor, Berveiller(1995)).

A aplicação da tensão crescente a uma temperatura $T_f < M_f$, origina uma deformação também crescente, mas não reversível, por simples descarga. Normalmente, o EMF manifesta-se apenas num único sentido, o arrefecimento do material não sofre nenhuma alteração da sua forma, embora ocorra a transformação martensítica. Nesta fase, se ocorrer alguma deformação esta irá manter-se até que o material seja aquecido, por forma a passar para o domínio austenítico, recuperando assim a sua forma inicial. A capacidade de recuperação da deformação poderá atingir valores entre 6% a 8%. (Fernandes, 2012).

Memória de forma de duplo efeito (TWSME)

O EMF de duplo efeito consiste na indução de um efeito que se manifesta nos dois sentidos de transformação:

- Arrefecimento, Austenite => Martensite;
- Aquecimento, Martensite => Austenite.

Esta mudança de forma é menos acentuada do que aquela que se obtém através do efeito simples, isto é, a força que se obtém quando o material recupera a sua forma da fase martensítica é consideravelmente inferior.

A alteração de forma induzida durante o aquecimento está associada à disponibilidade de uma força importante, tal como no EMF simples. A máxima extensão expectável de se obter, sem deformação não recuperável, é de aproximadamente 4%.

Os processos termomecânicos que originam a obtenção do EMF duplo baseiam-se na introdução de defeitos microestruturais na malha que originam diversas concentrações de tensões e que são suficientes para condicionar o crescimento das plaquetas martensíticas. Estas vão organizar-se segundo determinadas direções preferenciais, durante o arrefecimento, resultando uma mudança de forma global mais acentuada nessa mesma direção. Não existe fase intermédia da martensite maclada. Durante a transformação martensítica, ocorre o processo de efeito super-termoelástico.

2.3. Formas de aquecimento das LMF

Para a ocorrência da mudança de fase do estado martensítico para o estado austenítico é necessária uma indução de temperatura no material. Os procedimentos que poderão ser aplicados, dependem do tipo de atuador.

Segundo Huang, 1998, as ligas com EMF podem ser aquecidas por três métodos:

- Passagem de corrente;
- Passagem de corrente através de uma resistência ou material que se encontre em contacto com o elemento.
- Transferência térmica.

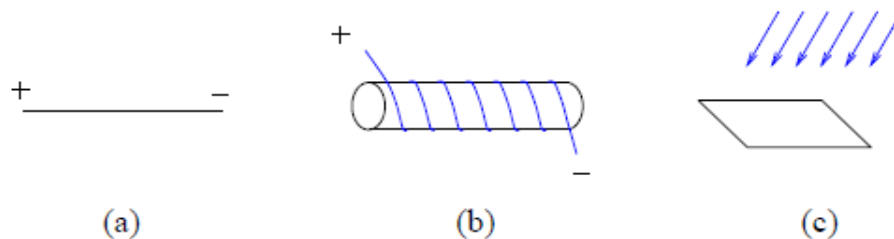


Figura 2.8 Métodos de aquecimento; a) Passagem de corrente; b) Aquecimento pelo auxílio de um arame; c) Radiação térmica (Huang 1998).

A passagem de corrente realiza um aquecimento pelo efeito de Joule, que consiste na aplicação de uma corrente elétrica para a simulação do aquecimento. Este método é aplicado a arames de Ni-Ti de pequenas dimensões ou molas. A resistência à corrente elétrica é tanto maior quando menor for o diâmetro do arame.

Na passagem de corrente através de uma resistência ou material, o aquecimento é dado pela passagem de corrente elétrica num fio que se encontra enrolado no material. O fio terá de ter uma boa condutividade térmica para que seja eficaz a transferência térmica como se pode ver na Figura 2.8 b).

Finalmente, é possível realizar a transferência de energia através de radiação térmica. Esta transferência é o método mais simples e mais utilizado, não sendo necessário nenhum sistema de aquecimento adicional. Este método de aquecimento, que pode também ser efetuado através da utilização de um fluido, está representado na Figura 2.8 c). (Augusto, 2013; Huang 1998).

2.4. Métodos de caracterização de uma liga com EMF

Segundo Fernandes (2012), no estudo da caracterização das ligas com EMF, recorre-se principalmente a quatro técnicas para as caracterizar:

- DSC, Calometria Diferencial de Varrimento;
- DRX, Difração de Raio-X;
- Resistividade elétrica;
- Ensaio mecânicos de Tração e/ou Compressão.

A técnica mais comum é a calorimetria Diferencial de Varrimento (em inglês Differential Scanning Calorimetry, DSC), Figura 2.9.

Neste método, procede-se à medição da quantidade de calor absorvido e libertado por uma amostra que atravessa o intervalo de temperaturas de transformação, quando sujeita a um ciclo térmico de aquecimento e arrefecimento. Os resultados deste método permitem determinar o início e o fim de cada uma das transformações de fase e qual a energia inerente para a ocorrência de cada uma dessas transformações.

Como a amostra que vai ser estudada é de pequenas dimensões, pesando apenas alguns miligramas, não temos em consideração as tensões. (Fernandes, 2012).

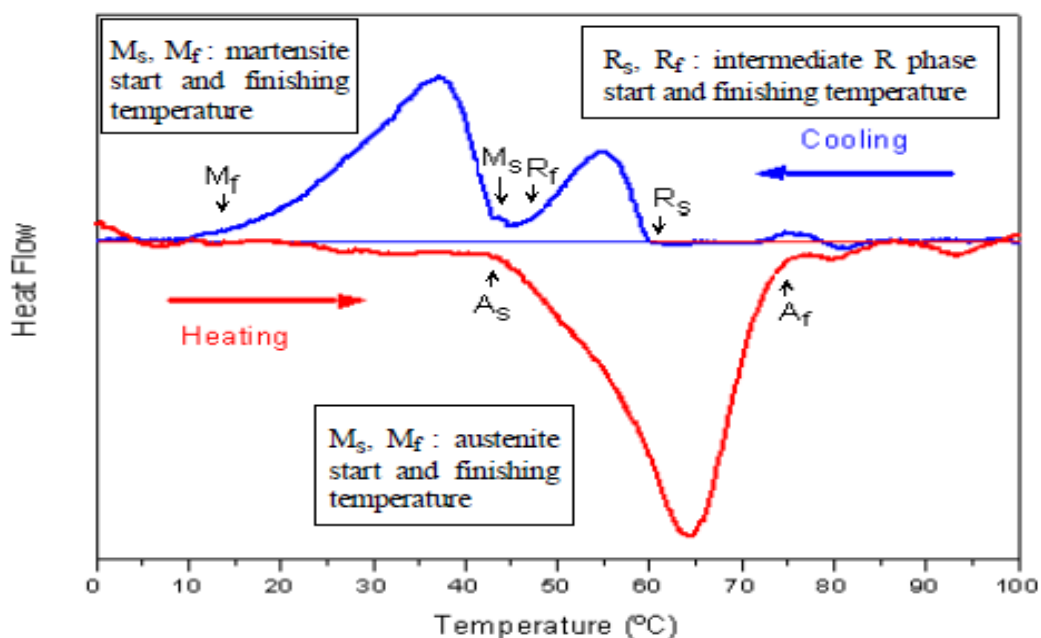


Figura 2.9 Ensaio DSC realizado sobre uma película fina de Ni-Ti, obtida por pulverização catódica (Fernandes, 2012).

A Figura 2.10, mostra a variação das temperaturas de transformação em função da temperatura de recozimento de ligas Ni-Ti, ricas em Ti. Para recozimentos acima de 450°C, deixa de ser evidente a presença da Fase-R (etapa intermédia).

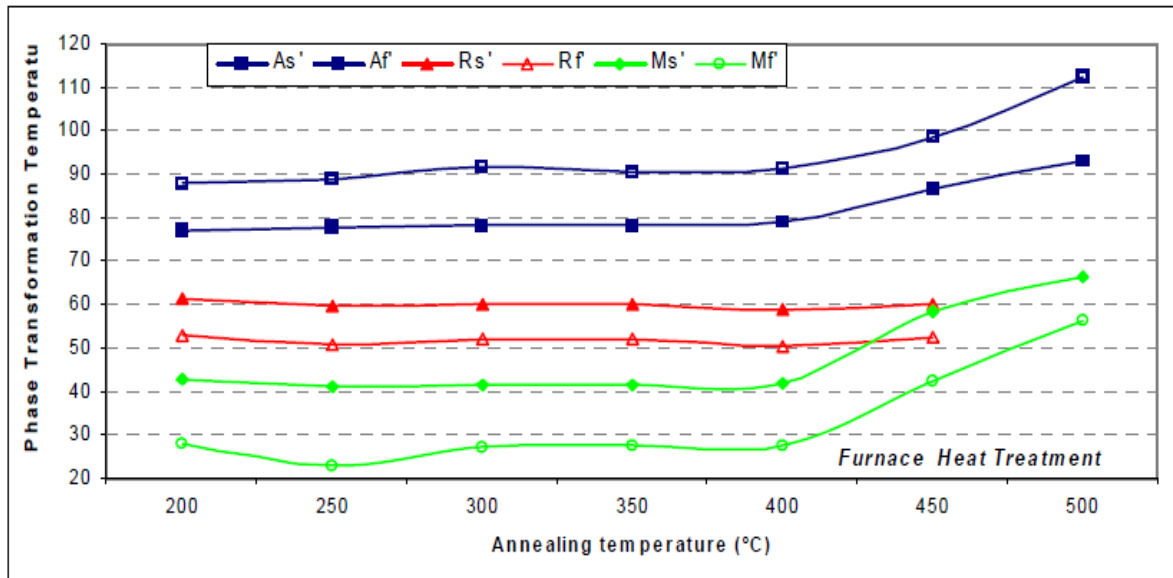


Figura 2.10 Variação das temperaturas As , Af , Rs , Rf , Ms e Mf em função da temperatura de recozimento de uma liga Ni-Ti, rica em Ti (Fernandes, 2012).

A DRX, difração de raios X, possibilita a identificação de fases na amostra, assim como a sua percentagem, permitindo um seguimento da transformação de fases tendo a temperatura como referência, Figura 2.11.

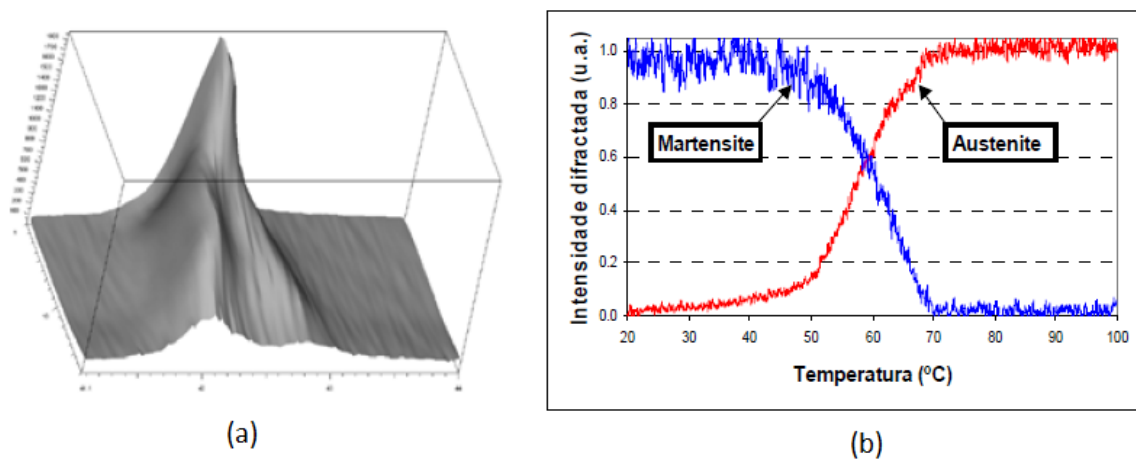


Figura 2.11 Técnica de DRX. a) Identificação da sequência de transformação $B2 \Rightarrow R \Rightarrow B19'$ entre 120°C e -180°C . b) Variação da intensidade difratada com a temperatura para películas finas de Ni-Ti obtidas por evaporação térmica. (Fernandes, 2012).

A resistividade elétrica da liga Ni-Ti também é uma técnica muito utilizada, devido ao facto de a liga ter uma grande variação em função da fase em que se encontre, austenítica, martensítica e Fase-R, Figura 2.12.

Estas ligas apresentam variações significativas da resistividade ao atravessarem o valor específico das temperaturas de transformação. A variação nas ligas binárias Ni-Ti traduz-se por:

- Um aumento durante a transformação $B2 \Rightarrow R$;
- Uma diminuição durante a transformação $R \Rightarrow B19'$ e $B2 \Rightarrow B19'$.

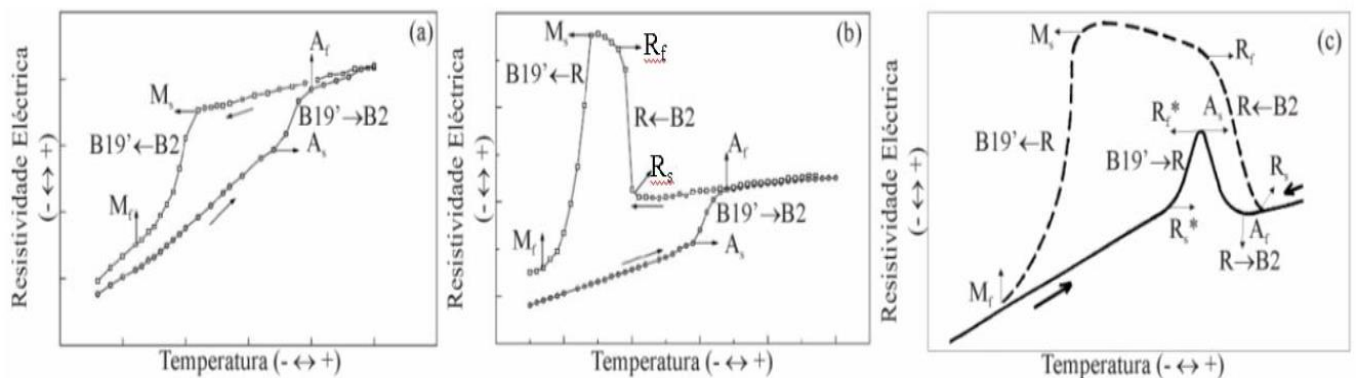


Figura 2.12 Ilustração do modo como as transformações de fases em ligas binárias de Ni-Ti podem ser identificadas a partir da resistividade elétrica.

A dilatometria também é possível de ser utilizada para determinar as transformações de fases. Esta técnica permite pôr em evidência as variações volúmicas associadas às diferentes fases, Figura 2.13 No caso das ligas Ni-Ti:

- Uma contração para $B2 \Rightarrow R$;
- Uma expansão para $R \Rightarrow B19'$ e $B2 \Rightarrow B19'$.

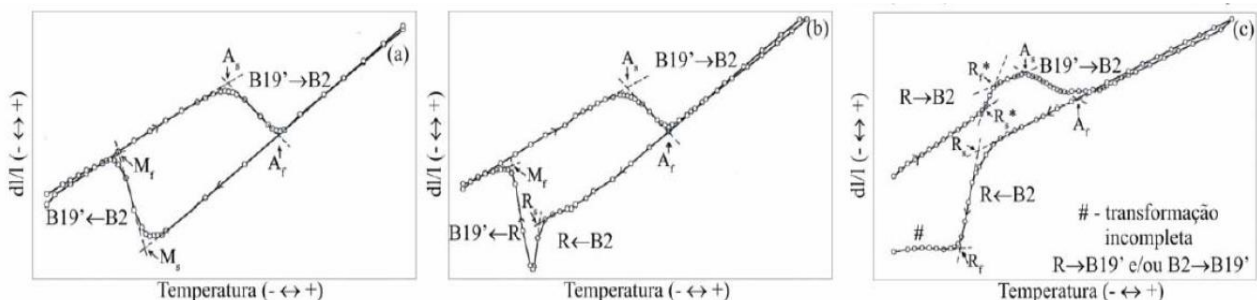


Figura 2.13 Ilustração do modo como as transformações de fases em ligas binárias de Ni-Ti podem ser identificadas a partir dos ensaios de dilatometria.

Neste trabalho, iremos utilizar o DSC para a caracterização e estudo das molas que, posteriormente, serão utilizadas como atuadores do mecanismo.

3. Materiais e Métodos

No âmbito deste trabalho, propomo-nos fazer a construção de um mecanismo que seja viável na utilização de atuadores mecânicos como mecanismos de segurança contra incêndios. Tendo por base esta ideia, elaborámos o seguinte esquema de metodologia e ordem cronológica de estudos que iremos realizar nos materiais, na maquete para o teste e na conduta final, Figura 3.1.

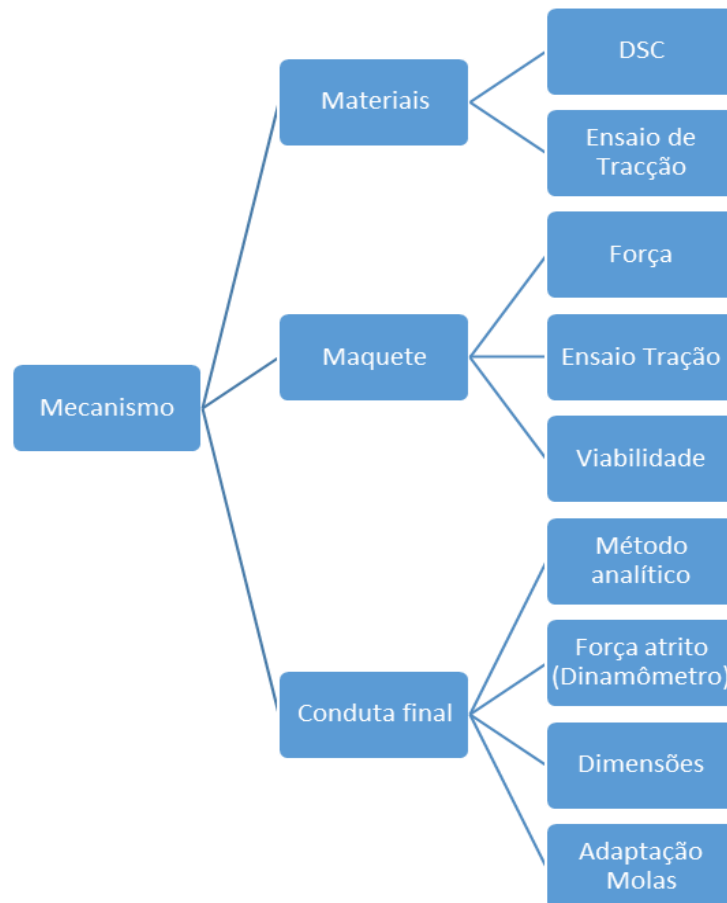


Figura 3.1 Fluxograma da metodologia para a realização do projeto

Os atuadores de ligas com memória de forma que foram utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo Cenimat, FCT-UNL CENIMAT (Centro de Investigação dos Materiais), tendo sido estudadas as características termomecânicas dos mesmos, de modo a encontrar quais as melhores condições de funcionamento dos atuadores por forma a tornar o mecanismo mais eficaz.

Para a realização deste projeto foi necessária a criação de uma maquete que simula o mecanismo final, de forma a realizar ensaios termomecânicos, uma vez que o mecanismo final, pelas suas dimensões, não permite a realização destes ensaios.

Este mecanismo será acionado pelas molas de Ni-Ti e tem como principal objetivo proceder à libertação do fecho que se encontra no flap, de modo a impedir quer a admissão de oxigénio para o interior do compartimento sinistrado, quer a saída dos gases gerados pela combustão. Neste estudo será analisado o comportamento do mecanismo, utilizando, de cada vez, duas molas Ni-Ti sujeitas a temperaturas de ativação diferentes, verificando-se qual a viabilidade da utilização destes atuadores. Este teste tem por finalidade, conseguir gamas de temperatura de ativação do mecanismo diferentes.

3.1. Materiais

O material utilizado na ativação do mecanismo de libertação do flap é uma liga metálica constituída por Níquel (Ni) e Titânio (Ti). A composição química, aproximadamente equiatómica, desta liga é de 50,9% de Titânio e o restante de Níquel.

Para a realização dos testes iremos utilizar duas ligas. Ambas possuem a forma de uma mola helicoidal.

A primeira com um comprimento entre olhais, onde será fixado o mecanismo, de 8,3 cm e um diâmetro externo de 5 mm, um diâmetro de fio de 0,8 mm e sujeita a uma temperatura de ativação de 110 °C, será designada por mola A.

A segunda mola, que possui um comprimento total de 3 cm e um diâmetro de fio de 0,8 mm e tem uma temperatura de ativação de 60 °C, será denominada por mola B.

A distensão máxima de ambas as molas será limitada pelo curso de 15 mm. Na Figura 3.2 encontra-se uma imagem das duas molas e respetivas dimensões de comprimento.

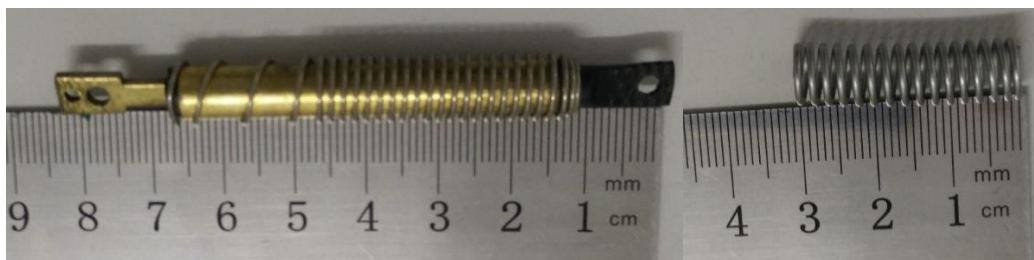


Figura 3.2 Mola A, comprimento mínimo 8,3 cm; Mola B, comprimento mínimo 3cm.

A seleção destas gamas de temperaturas foi baseada nas temperaturas que são utilizadas nos Sprinklers, Tabela 2-1, anteriormente demonstrada.

3.2. Dimensionamento e Construção da conduta

Para a realização deste projeto foram construídos diversos componentes para a realização do mecanismo final. Inicialmente, foram concebidos em Solidworks Student Edition 2014 (SW 2014) todos os componentes que foram utilizados no mecanismo, encontrando-se em apêndice a este trabalho os seus desenhos técnicos.

Todos os cálculos e desenhos foram efetuados a partir da componente base que é a conduta de ventilação. Uma vez que o mecanismo irá ser testado nessa conduta, todos os componentes foram desenhados por forma a adaptarem-se e a coincidir com esta conduta base.

Neste capítulo será abordado cada um dos componentes, as suas funções e a sua localização no mecanismo completo e o seu processo de maquinagem.

Os componentes constituintes do mecanismo da conduta são:

- Conduta de ventilação; (Figura 3.3)
- Flap; (Figura 3.5)
- Cinta; (Figura 3.7)

Será também descrito o mecanismo que irá proceder a libertação do flap, que contém as seguintes componentes:

- Chapa da mola; (Figura 3.9)
- Ponto de apoio; (Figura 3.10)
- Fecho. (Figura 3.11)

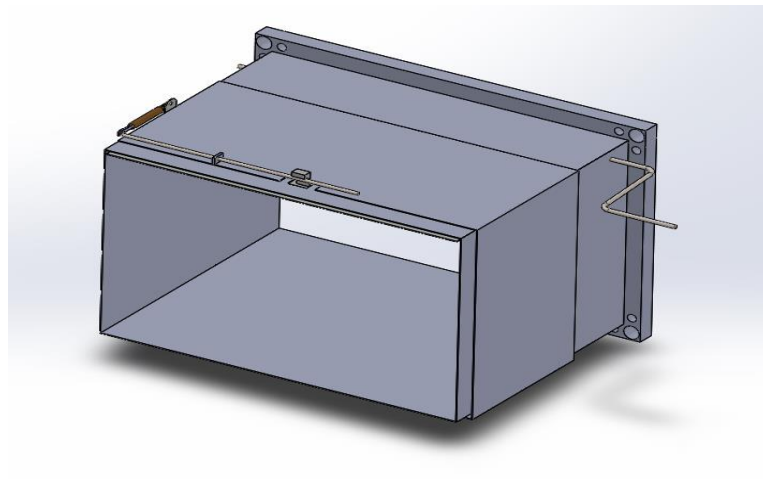


Figura 3.3 Esquema da conduta final em SW.

Conduta de Ventilação

Foi utilizada uma estrutura de conduta com dimensões que posteriormente permitirão que a mesma seja aplicada nos navios, tendo assim uma referência das limitações adjacentes na conceção e construção do mecanismo.

Assim criou-se uma conduta de ventilação possuindo uma geometria retangular, com uma altura de 25 cm, largura de 40 cm e uma espessura de chapa de 2mm. Esta conduta possui a capacidade de ter o ar a circular com uma velocidade máxima de 1m/s, que não deverá ser excedida uma vez que, se tal acontecer, irá causar ruído e turbulência do fluido. Todos os componentes do mecanismo, serão desenhados e desenvolvidos, por forma a serem adaptados a esta estrutura. (Desenho Nº 01.26510.16)

- Caudal da Conduta= Área x Velocidade do fluido

$$\dot{Q} = 0,1m^3 / s$$

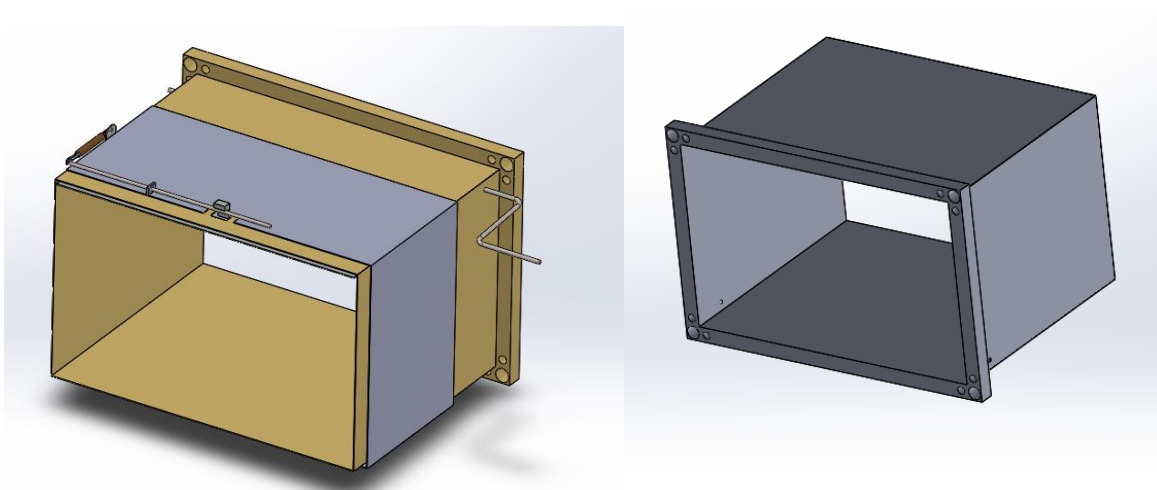


Figura 3.4 Localização da Conduta, SW 2014

Flap

Procedeu-se à maquinação de uma chapa, que será utilizada como flap e que terá o objetivo de vedar a conduta, por forma a que seja impossibilitada a entrada do ar e posteriormente a saída de fumo.

O material constituinte da chapa é aço galvanizado, com revestimento de zinco, porque é um material mais leve e possui uma elevada capacidade térmica mássica quando comparada com outros materiais de construção de condutas, sendo mais resistente e estável quando submetido à exposição térmica do incêndio. Este material, possui também uma resistência à deformação, quando o flap embate na parte inferior da conduta.

A chapa possui as seguintes dimensões:

- Comprimento: 27 cm;
- Largura: 39,5 cm;
- Espessura: 1 mm.

Por forma a ser possível a reativação do sistema, foi feita uma soldadura de um varão, com 61 cm de comprimento, fixo à chapa. Este varão foi dobrado com o auxílio de uma chama de oxiacetileno, tornando assim mais fácil a reativação do flap no sistema. O material constituinte deste varão é inox.

O peso do flap na totalidade é de 1 kg. A meio da extremidade do flap, encontra-se soldado um fecho, que serve de travão para a sua queda, fecho este que tem as dimensões 2x1 cm. O flap é seguro pelo varão que, na outra extremidade, se encontra fixo à mola.

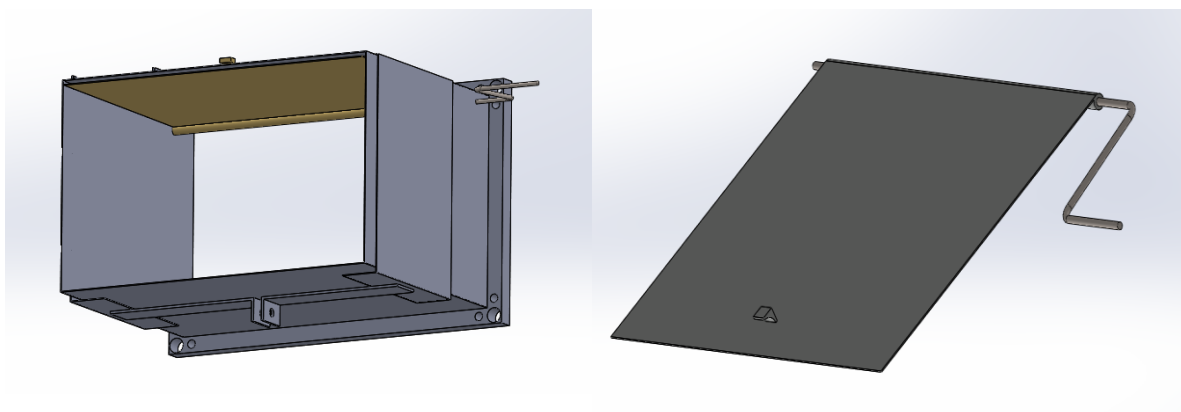


Figura 3.5 Flap com Varão, SW 2014

Para que seja possível a suspensão do varão pelo fecho, foi feito um furo na estrutura da conduta, de modo que o fecho do flap possa ficar numa posição superior à da estrutura da cinta, quando este se encontre em cima. (Desenho N° 02.26510.16)

Cinta

Procedeu-se à construção de uma cinta, em aço, que conseguisse permitir a fixação dos componentes adjacentes do mecanismo final na conduta sem danificar a estrutura. A fixação dos componentes será feita por soldagem, oxiacetileno. A soldadura será feita na cinta, uma vez que a conduta apresenta uma espessura muito fina, 2mm, existindo o risco de danificar a estrutura. Por forma a salvaguardar a integridade da estrutura, os componentes vão então ser soldados na cinta, que será posteriormente fixa na conduta, recorrendo a um aperto por parafusos.

Dobrou-se uma chapa com 97 cm de comprimento e 18,2 cm de largura em quatro locais, de modo a que a chapa conseguisse cobrir a conduta na sua totalidade, nos pontos A, B, C e D, Figura 3.6. Para que a cinta ficasse encostada à estrutura da conduta, procedeu-se à realização de um aperto por parafuso na parte inferior da conduta.

Soldaram-se duas chapas, na parte inferior da cinta e na extremidade interior, tendo um furo para um parafuso M5, tal como demonstrado na Figura 3.6. A distância entre o fim da chapa até ao ponto A é de 4,4 cm. De A até B são 26 cm e de B a C são 40 cm.

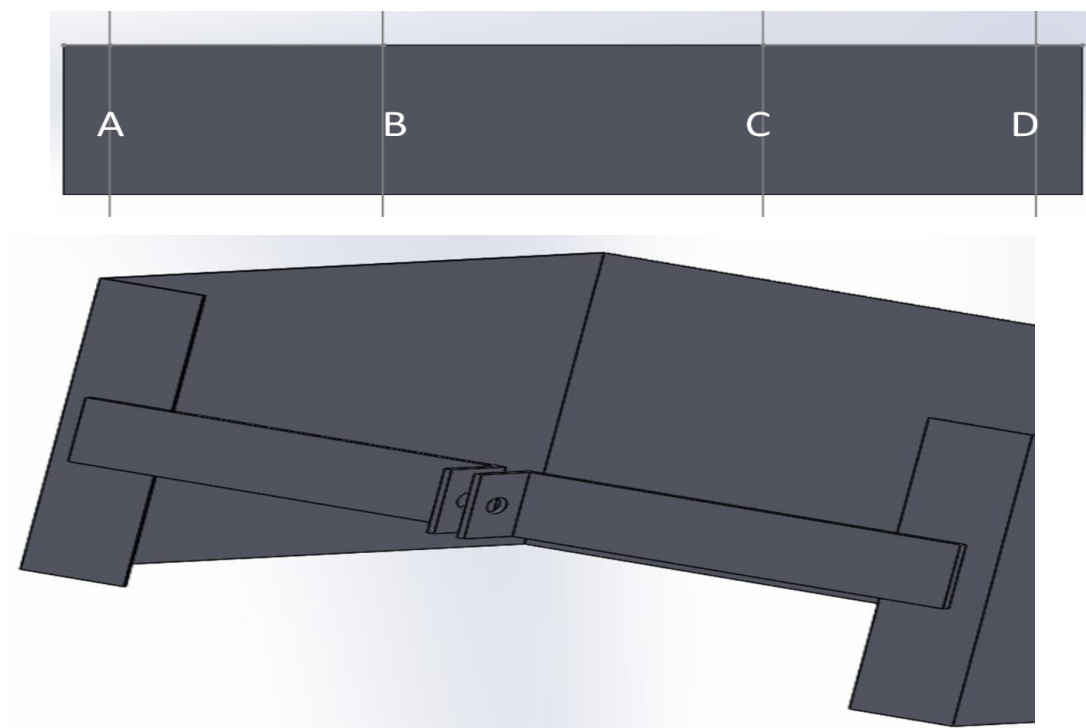


Figura 3.6 Figura superior, dobragem da chapa em quatro partes. Figura inferior, aperto por parafuso M5, vista inferior feita por SW14.

Em seguida, envolveu-se a conduta com a cinta e, com o auxílio de um parafuso M5, procedeu-se ao aperto das chapas, até que a cinta se encontrasse totalmente encostada à estrutura da conduta. Desta forma, a atuação dos componentes do mecanismo de libertação do flap não irá ter falhas que poderiam ser causadas pela existência de um espaçamento entre a conduta e a cinta.

Antes de proceder à colocação da cinta, procedeu-se à maquinagem de uma abertura com 20 cm por 10 cm, por forma a que seja possível a passagem do fecho do Flap, encontrando-se na figura seguinte o esquema em SW. (Desenho N° 03.26510.16)

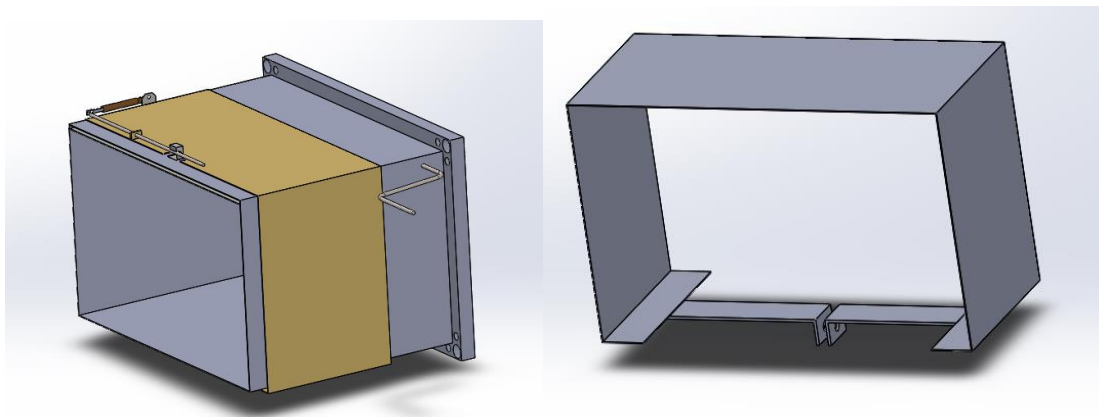


Figura 3.7 Cinta do suporte do mecanismo, SW 2014

Mecanismo

O mecanismo de libertação do flap é composto por um ponto de apoio, um varão que se encontra fixo à mola que se encontra a suspender o fecho, e por uma chapa que será colocada na lateral da cinta, tendo como objetivo a fixação da mola à cinta.

Este mecanismo tem como finalidade fazer a libertação de um fecho de forma a ocorrer a queda de um flap. Esta libertação será efetuada recorrendo a um sistema de alavanca em que a mola, sendo ativada pela temperatura, irá comprimir-se originando a rotação do varão, que irá rodar pelo ponto de apoio e que vai desprender o fecho, causando assim a queda do flap.

Para a realização de um estudo, o mecanismo será replicado para uma maquete, em que será possível variar a localização do ponto de apoio e da chapa. Estes ensaios serão realizados na máquina de tração.

Posteriormente, após os ensaios, o mecanismo será construído na cinta da conduta, permanentemente para a realização dos ensaios finais.

A escolha deste método de funcionamento prende-se com o fato de, através de uma força aplicada numa extremidade de uma barra, ser possível movimentar algo com uma força maior. A localização do mecanismo deverá ficar no excerto na conduta mais próximo da admissão do ar para o compartimento porque, desta forma, será necessária uma força menor para desprender o fecho. A vedação irá impedir que o caudal de ar entre no compartimento do incêndio, Figura 3.8 e Tabela 3-1.

“Uma força a uma distância maior do Ponto de Apoio tem um poder maior de rodar a alavanca do que uma força que se encontre a uma distância menor do Ponto de Apoio”, citando Arquimedes “Dêem-me um ponto de apoio e levantarei o mundo”. (Assis, 2008, p. 167).

Neste caso, se F_1 fosse menor que F_2 , desde que a distância “ d ” fosse menor que “ D ”, iria fazer-se sentir uma maior força em F_2 . Esta força F_2 terá que vencer a força de atrito gerada pelo contato entre as duas superfícies. (Assis, 2008).

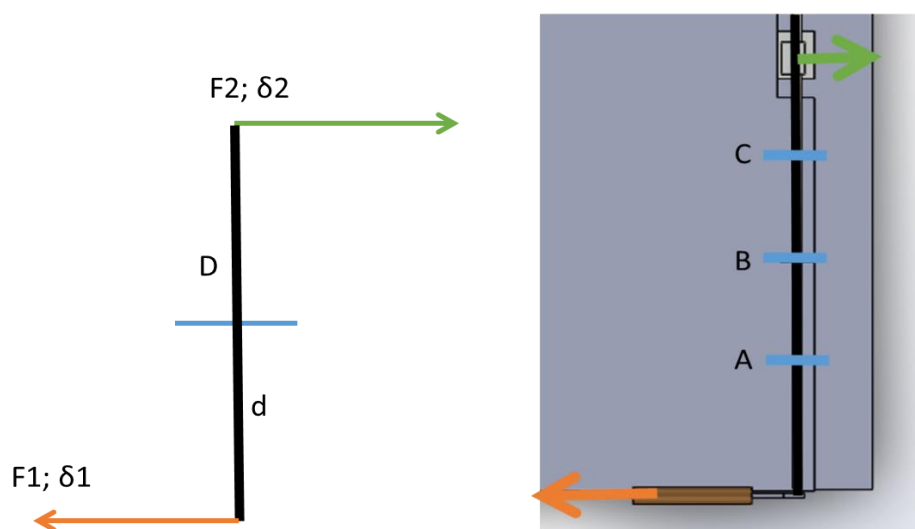


Figura 3.8 Esquema de todas as forças do mecanismo, lado esquerdo. Vista de cima em SW 2014, lado direito, onde se encontram representados os três pontos de apoio, que irão ser testados.

Tabela 3-1 Resumo das variáveis do mecanismo

Símbolo	Definição
F1	Força resultante da compressão da mola
F2	Força que vai ser exercida na extremidade do varão
δ1	Curso que a mola vai executar (alongamento inicial)
δ2	Curso que vai ser exercido para soltar o fecho
d	Distância entre a mola e o Ponto de Apoio
D	Distância entre o Ponto de Apoio e o Fecho

Neste esquema, encontram-se as linhas azuis que representam a localização dos Pontos de Apoio, que irá exercer um momento para a abertura do fecho. O ponto de apoio final irá estar situado a uma distância que permita não só um melhor aproveitamento da força da mola, mas também consiga realizar o curso necessário à libertação do flap. Também se encontram representados os três pontos de apoio que foram escolhidos para o ensaio. A seta de cor laranja representa o sentido do movimento da mola, da sua compressão, quando esta for estimulada pela temperatura.

Finalmente, a seta verde representa o sentido do movimento da extremidade do varão que irá proceder à libertação do fecho do flap. A queda do flap irá originar a uma vedação da entrada de ar no compartimento e, por outro lado, irá impedir que os gases provenientes do incêndio sejam alastrados para outros compartimentos.

O nosso estudo do projeto do mecanismo teve três aspetos em consideração para a libertação do flap:

- Posição Inicial da mola;
- Ponto de Apoio;
- Libertação do fecho.

Posição Inicial da mola:

Inicialmente, irá ser calculado qual o melhor alongamento inicial da mola, para que seja possível verificar qual a posição em que existe um melhor aproveitamento da sua força, o que será calculado no ensaio de tração. Após esse ensaio, iremos considerar quais os valores mais favoráveis que nos indicam o local ideal para fixar a chapa da mola.

A mola irá encontrar-se na face lateral da conduta para que seja facilitada a sua exposição térmica ao incêndio. A fixação da mola será feita através de uma chapa, com espessura de 1cm com três furos, todos com um diâmetro de 4cm. Os dois furos inferiores, serão utilizados na fixação da chapa à maquete, para a realização dos ensaios.

O furo superior irá fixar a mola à chapa. (Desenho Nº 04.26510.16)

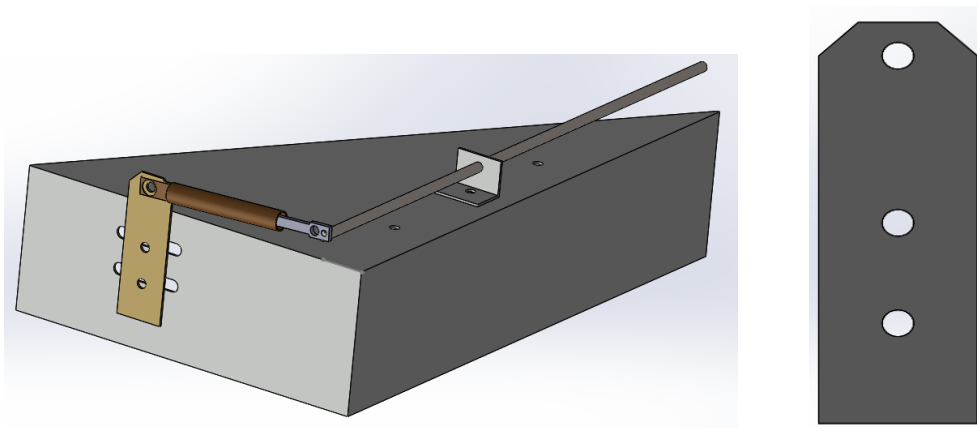


Figura 3.9 Chapa da mola na maquete, esquerda. Vista de frente chapa da mola, direita

Posteriormente, após a obtenção da melhor posição de alongamento inicial da mola, a chapa da mola irá ser soldada à cinta de forma a que, na realização do teste final, a chapa esteja na localização ideal e não exista a possibilidade de haver alterações.

Ponto de Apoio:

A posição do Ponto de Apoio será o local onde se irá fazer sentir o binário da rotação do varão originado pela mola. Esta posição terá que ser escolhida tendo por base a posição do varão e a distância da mola ao fecho, em que a mola irá gerar uma força suficiente para vencer as forças de atrito existentes entre o varão e a superfície do fecho. Terá também que fornecer um curso superior a 1 cm, por forma a proceder à libertação do flap.

Para este ensaio, serão utilizadas três posições, Ponto de Apoio A, B e C. Estas são definidas pelas seguintes distâncias Figura 3.14.

- Ponto A, encontra-se a 15 cm do ponto do fecho do Flap e a 5cm da mola.
- Ponto B, encontra-se a 10 cm do ponto do fecho do Flap e a 10cm da mola.
- Ponto C, encontra-se a 5 cm do ponto do fecho do Flap e a 15cm da mola.

Após a confirmação de qual o Ponto de Apoio a utilizar, este será soldado na Cinta, à semelhança da chapa da mola. (Desenho N° 05.26510.16)

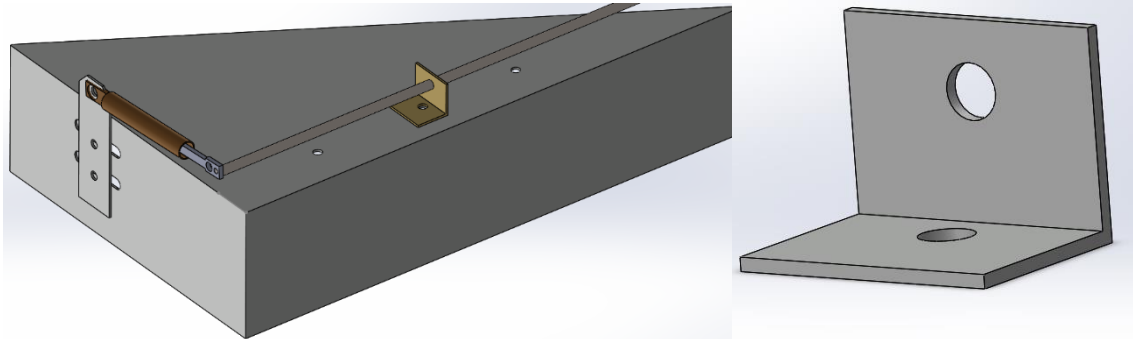


Figura 3.10 Ponto de apoio da mola. Sw 2014

Libertação do fecho:

Encontra-se soldado ao flap um fecho. Este irá ser suspenso pelo varão da mola, tendo um coeficiente de atrito suficiente entre as superfícies para resistir às vibrações geradas pelo navio, impedindo assim a sua libertação accidental. O varão terá que realizar um curso de 1cm para realizar a libertação do flap. Nos capítulos seguintes será calculado qual a força necessária para que o varão proceda à libertação do flap.

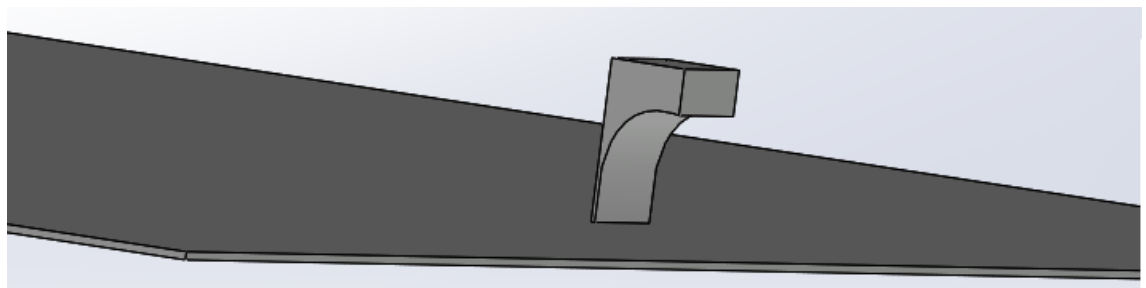


Figura 3.11 Fecho do Flap, SW 2014.

3.3. Métodos de caracterização

3.3.1. Ensaios Termomecânicos

Começámos por fazer a caracterização experimental da liga Ni-Ti que compõe o mecanismo de libertação, recorrendo em primeiro lugar a um teste DSC das duas molas que serão utilizadas. Em seguida, foram realizados testes relativos ao alongamento das molas, por forma a conhecer o seu comportamento em função do alongamento inicial. Numa segunda parte foi utilizada a maquete por forma a confirmar a realização dos ensaios na máquina de tração.

3.3.1.1. DSC – Calometria Diferencial de varrimento

A análise de DSC é um dos métodos de caracterização no estudo das ligas com memória de forma. Tem como principal finalidade medir a quantidade de energia (calor) libertada e absorvida por uma determinada amostra ao ser sujeita a um ciclo térmico de aquecimento e arrefecimento.

A amostra é de reduzidas dimensões, pesa normalmente alguns miligramas e não se encontra sujeita a tensões. Desta maneira, serão fornecidas apenas informações sobre a transformação, que é induzida termicamente, em função da composição química e do estado estrutural da amostra.

Os ensaios DSC foram realizados no equipamento DSC 204 F1 Phoenix, existente nas instalações do Cenimat FCT, para determinar as características das ligas Ni-Ti que serão utilizadas, Figura 3.12.

Para o estudo do EMF, as amostras foram analisadas em ciclos completos de aquecimento e arrefecimento. Para a realização da análise foram preparadas duas amostras de cada uma das molas. Estas amostras têm uma massa reduzida de 25 a 80mg, obtida através do corte mecânico efetuado nas molas.

Foi realizada uma decapagem química, através de uma solução ácida (45%vol H₂O, 45%vol HNO₃ e 10%vol HF), durante 10 a 20 minutos para remoção dos óxidos. Após a preparação das amostras, estas foram colocadas no DSC para a realização do teste.

Os termogramas presentes no gráfico na Figura 4.4, consistem num ciclo de arrefecimento de 150 °C para -30 °C, numa taxa de 10 °C/min, sendo que esta variação de temperatura vai originar a transformação da fase austenítica (B2) para a martensite (B19').

O ciclo de aquecimento consistiu no processo inverso, com a mesma velocidade de variação térmica até ser novamente atingido os 150°C, ocorrendo assim a transformação inversa, martensite (B19') para austenite (B2).

Neste ensaio, é possível obterem-se as temperaturas em que ocorre a transformação, a histerese térmica das ligas, bem como o tipo de transformação que se verificam no intervalo de temperatura definido. Compararam-se as diferenças observadas no termograma DSC das amostras.

Estes valores correspondem ao início e crescimento exponencial da transformação de fase. Os valores *outliers*, picos, ao longo da temperatura correspondem a uma pequena percentagem da transformação total. Estas temperaturas foram encontradas pelo método do cruzamento das tangentes da linha de base e da linha do pico.



Figura 3.12 Equipamento DSC 204 F1 Phoenix do Cenimat FCT.

3.3.1.2. Ensaio de alongamento

De maneira a ser possível ter valores de referência relativos ao alongamento das molas, foram realizados ensaios de tração com recurso a um travessão. Neste ensaio, a mola utilizada foi a mola A, esta foi fixada na posição completamente retraída e posteriormente foi alongada até um determinado alongamento pela ação da máquina. Quando o alongamento foi atingido, procedeu-se ao aquecimento até 90 °C. Através da máquina de tração SHIMADZU Autigraph AG-G Séries do Cenimat, foi possível a leitura dos valores da força que a mola vai exercer.

Procedemos à realização de três ensaios, utilizando a mesma mola e com três deformações iniciais diferentes.

- Mola com 7,5 mm, linha vermelha;
- Mola com 10 mm, linha amarela;
- Mola com 15 mm, linha verde.

O ensaio teve a duração de 10 minutos, sendo que apenas iremos considerar o intervalo de tempo até aos 450 segundos, 7 minutos e meio, uma vez que o nosso estudo incide sobretudo sobre os momentos iniciais, em que ocorre a força inicial da mola até à libertação do mecanismo, sendo irrelevante o comportamento da mola após esse momento, Figura 3.13. Os resultados obtidos neste ensaio, encontram-se representados na Figura 4.5, no capítulo 4.

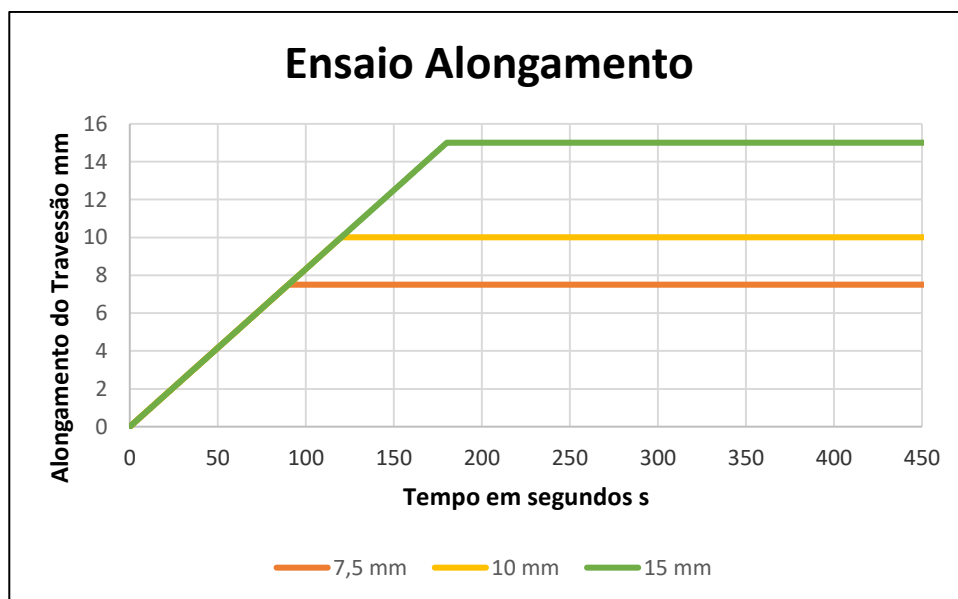


Figura 3.13 Gráfico dos valores do alongamento do Travessão

3.3.1.3. Maquete para testes

Por forma a ser estudada a força que a mola poderá exercer no mecanismo de libertação, foi construída uma maquete que simula o mecanismo de libertação do flap da conduta final. Esta maquete tem como principal finalidade a realização de ensaios na máquina de tração SHIMADZU Autigraph AG-G Séries do Cenimat a fim de serem encontradas as melhores condições para a maximização da força da mola, para que o funcionamento do mecanismo seja eficaz, Figura 3.16. Nesta maquete, será possível alterar os seguintes parâmetros: ponto de apoio e posição da chapa. (Desenho N° 06.26510.16)

3.3.1.4. Construção da maquete

O mecanismo que vai proceder à libertação da queda do flap necessita não só de ter a força máxima disponível pela mola, mas também de realizar um curso suficientemente longo, para que seja possível libertar o fecho, Figura 3.14.

O funcionamento do mecanismo será efetuado por compressão da mola, pela temperatura, comprimindo-a através do efeito de memória de forma. Esta compressão vai realizar um efeito de alavanca na outra extremidade do varão.

O varão terá que ser preso a um ponto de apoio de forma a fazer o sistema de alavanca e este terá que vencer a força de atrito do fecho, para então se dar a libertação do flap. (Desenho N° 07.26510.16)

Na construção da maquete para os ensaios, tivemos em conta dois parâmetros que serão as variáveis de estudo:

- Ponto de Apoio, local onde o varão irá exercer o momento giratório.
- Alongamento da Mola, comprimento inicial da deformação induzida na mola.

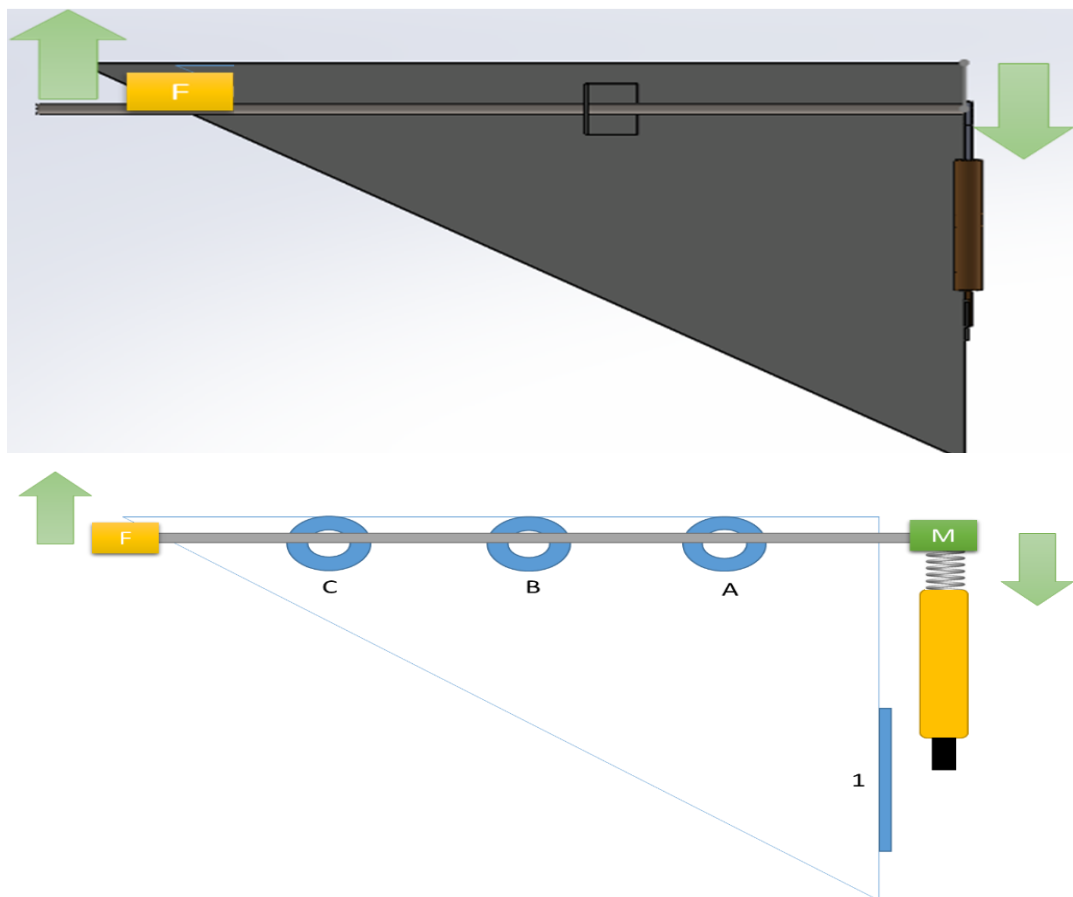


Figura 3.14 Esquema da maquete. F Ponto do Fecho do Flap, M Ponto da Mola, A,B,C Ponto de Apoio, 1- Fixe da mola. Em cima encontra-se representada a vista de cima da maquete em SW14.

Para que os valores consigam ser relevantes e apresentem uma margem significativa, consideramos as seguintes distâncias para a localização dos pontos de apoio:

- Ponto A, encontra-se a 15 cm do ponto do fecho do Flap e a 5cm da mola.
- Ponto B, encontra-se a 10 cm do ponto do fecho do Flap e a 10cm da mola.
- Ponto C, encontra-se a 5 cm do ponto do fecho do Flap e a 15cm da mola.

Coloca-se um suporte, com um furo das dimensões do varão, de modo a executar o efeito de alavanca. Com isto, é possível verificar qual a força que irá atuar na outra extremidade do varão.

No fixe da mola existem duas calhas com um comprimento de 2.5cm e um diâmetro de furo de 4mm, onde é possível prender a mola na chapa com o auxílio de dois parafusos. Com isto, conseguimos variar o alongamento inicial da mola para os ensaios a realizar.



Figura 3.15 Chapa da mola no fixe em pormenor

A mola será fixa à chapa no furo superior e os dois furos inferiores irão ser fixos à maquete. As três posições que iremos estudar são as seguintes:

- Alongamento inicial da mola 0 mm.
- Alongamento inicial da mola 10 mm;
- Alongamento inicial da mola 15 mm.

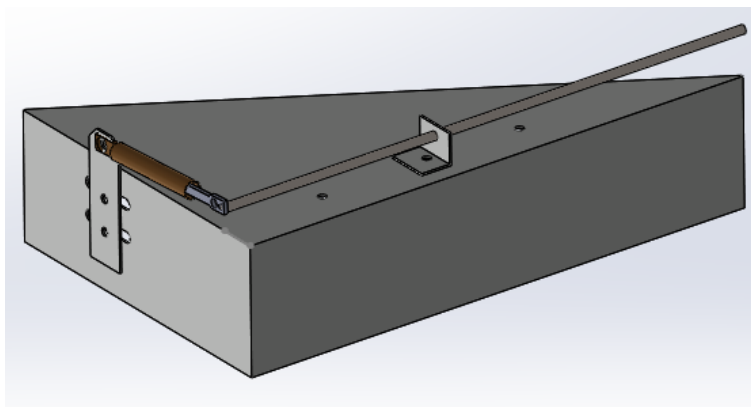


Figura 3.16 Maquete para teste, SW 2014

A escolha destes valores de alongamento da mola permitirá avaliar as forças de atuação das molas recorrendo a uma máquina de ensaios de tração. Apesar de neste ensaio a mola ter tido um ensaio de 7,5mm, consideramos a utilização de 0 mm, estes equivalem à distância na fase martensítica, que detém o valor de 2,5 mm. Por forma a ser mais esclarecedor, consideramos a atribuição do nome de 0 mm.

3.3.1.5. Ensaio mecânico de tração da máquina

A maquete foi fixa à garra inferior da máquina de tração com o auxílio de duas chapas de inox. De seguida foi montado o ponto de apoio com a ajuda de um parafuso e foi ajustado o alongamento da mola à mesma. Após isto, foi colocado um varão que numa extremidade se encontrava fixado na mola e na outra estava preso a uma chapa de apoio, que se encontrava fixa à garra superior da máquina de tração, Figura 3.17.

A fonte térmica usada para o aquecimento da mola Ni-Ti foi uma pistola de ar quente, que iria produzir a temperatura até aos 60 °C e, após estabilizar, iria aumentar até aos 120 °C. Foi colocado um Termopar (sensor de temperatura) para medir a temperatura que se iria fazer sentir no atuador. O ensaio teve a duração máxima de 300 segundos.

Após o início do ensaio aguardou-se durante 10 segundos até iniciarmos a pistola de ar quente. A máquina de tração registou ao longo do ensaio qual a força que a mola exercia na extremidade do varão, Figura 3.13. Os dados relativos a esta força irão ser disponibilizados em Excel e posteriormente, gerados para gráficos, por forma a ser mais prático a sua análise.

Encontra-se representado na Figura 3.17, o esquema de montagem do ensaio da maquete, tendo uma vista pormenorizada na Figura 3.18.

Realizámos nove ensaios no total para a mola A, com avaliação dos valores obtidos de maior relevância, e apenas realizámos alguns ensaios para a mola B.

A maquete foi contruída em chapa zincada, sendo resistente à temperatura e às deformações que possam ser provocadas pelo mecanismo da mola.

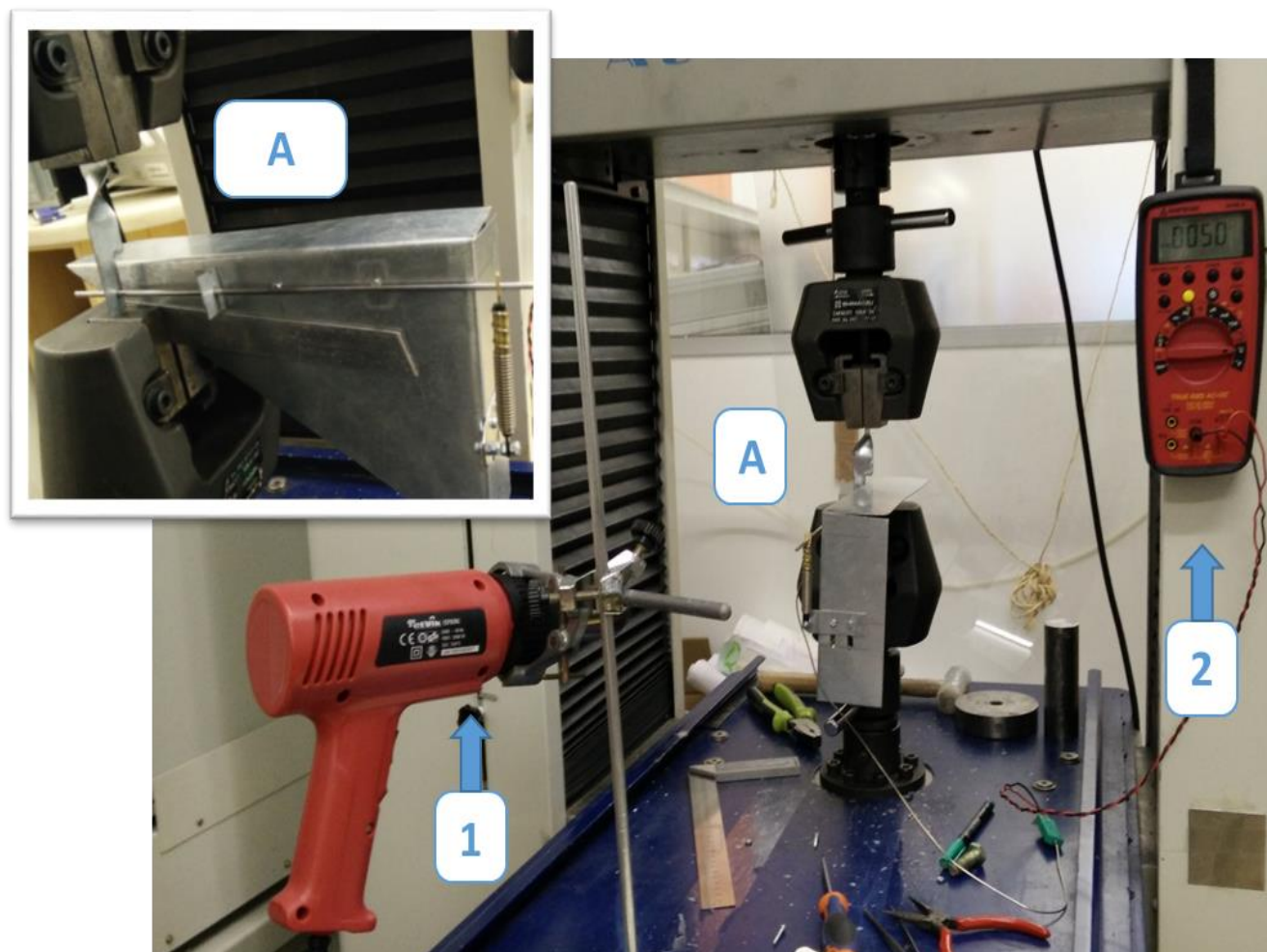


Figura 3.17 Esquema do ensaio realizado na máquina de tração SHIMADZU Autigraph AG-G Séries do Cenimat. A-Maquete fixa nas garras 1-Pistola de ar quentes 2-Termopar

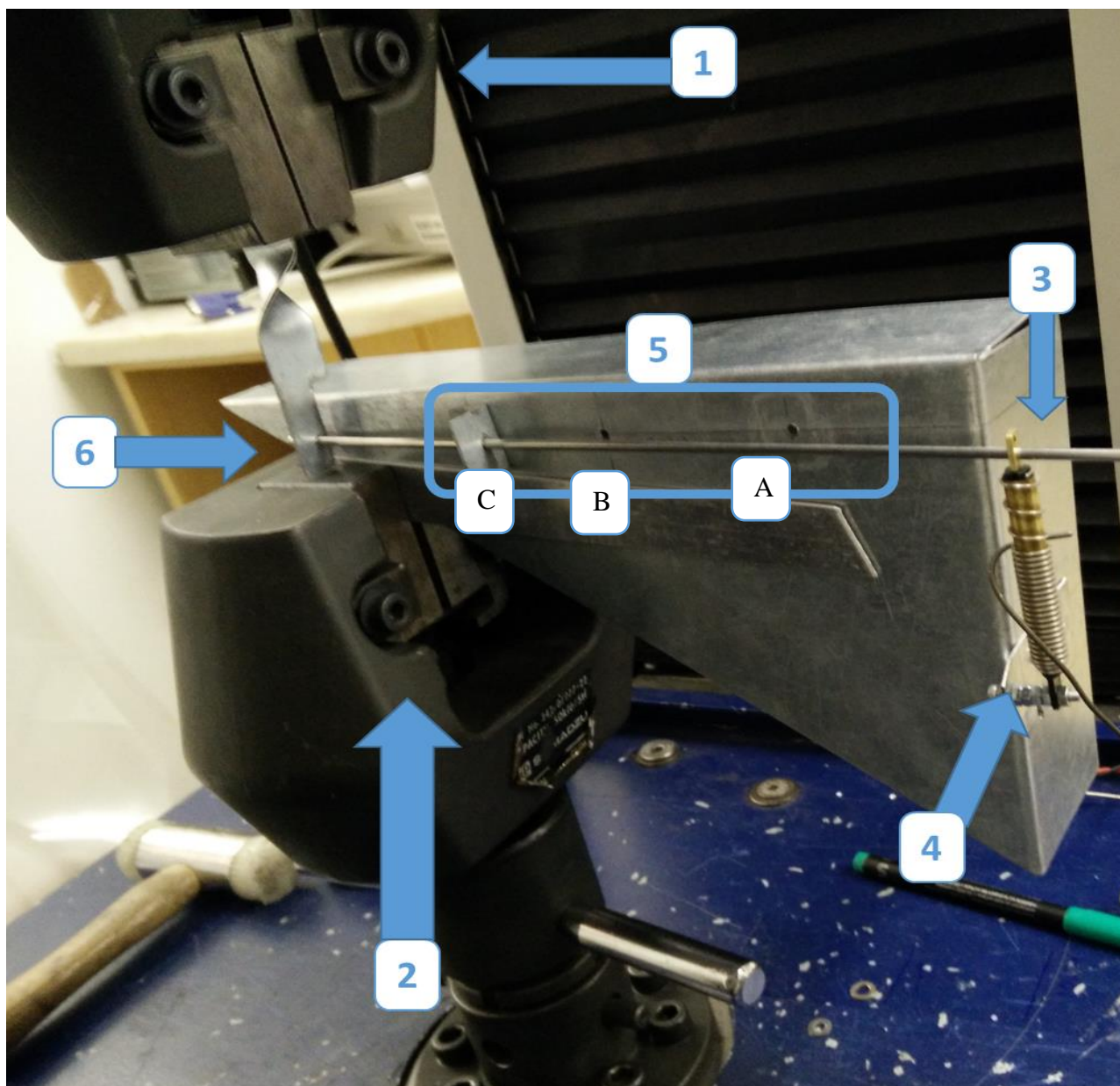


Figura 3.18 Esquema da Maquete para Ensaio de tração fixa nas garras. 1- Garra Superior; 2- Garra Inferior; 3-Varão fixo a mola; 4- Mola fixa pela chapa no fixe da mola; 5-Pontos de Apoio; 6-Chapa de apoio.

3.3.2. Dinamómetro

O dinamómetro é um aparelho que consegue medir forças de tração/compressão. Este ensaio tem como principal função saber qual o valor da força que é necessário que a mola exerça para a libertação do flap, Figura 3.19.

Iremos medir o valor da força no fecho, determinando assim o valor mínimo que vai ter que ser superado, para que o varão consiga proceder à libertação do fecho. Antes da colocação do flap na conduta, verificou-se que o seu peso era de 1 kg, equivalente a 9,81 N de força.



Figura 3.19 Dinamómetro portátil com capacidade máxima de 30 kg

Para proceder à verificação da força que se faz sentir no fecho, começou-se por fixar um dinamómetro numa garra, de forma a que este não pudesse ser deslocado lateralmente durante os ensaios e não houvesse nenhuma força exterior a atuar. Teve de se calibrar o dinamómetro através do botão *tare*, que é a opção que serve para que os sensores de força do dinamómetro comecem a ter a capacidade de medir, tendo esta referência.

Este ensaio teve como principal objetivo apresentar o valor que é exercido na componente vertical e horizontal do flap quando a mola inicia o processo de abertura do fecho.



Figura 3.20 Esquema dos eixos das forças, vista em SW da conduta e do Flap, que se encontra fixo ao mecanismo pelo Fecho. A Azul, temos a componente vertical e a verde temos a componente horizontal

No esquema da Figura 3.20 encontra-se representada a azul a força que o Flap vai exercer sobre o varão, componente vertical, e a verde encontra-se representada a força necessária que a mola terá que fazer para vencer o fecho e proceder assim à libertação do flap, componente horizontal. Este ensaio foi realizado no AA, recorrendo ao dinamómetro e a todo o material de montagem disponibilizado pelas instalações do mesmo.

4. Resultados e Discussão

4.1. Ensaio Dinamómetro

Com estes ensaios, obtivemos o valor do peso que o flap exerce no varão, componente vertical na Figura 4.2, e o valor que é necessário realizar para ocorrer a libertação do flap, componente horizontal na Figura 4.3. Encontram-se na Figura 4.1, as imagens relativas aos dois ensaios, realizados no AA.

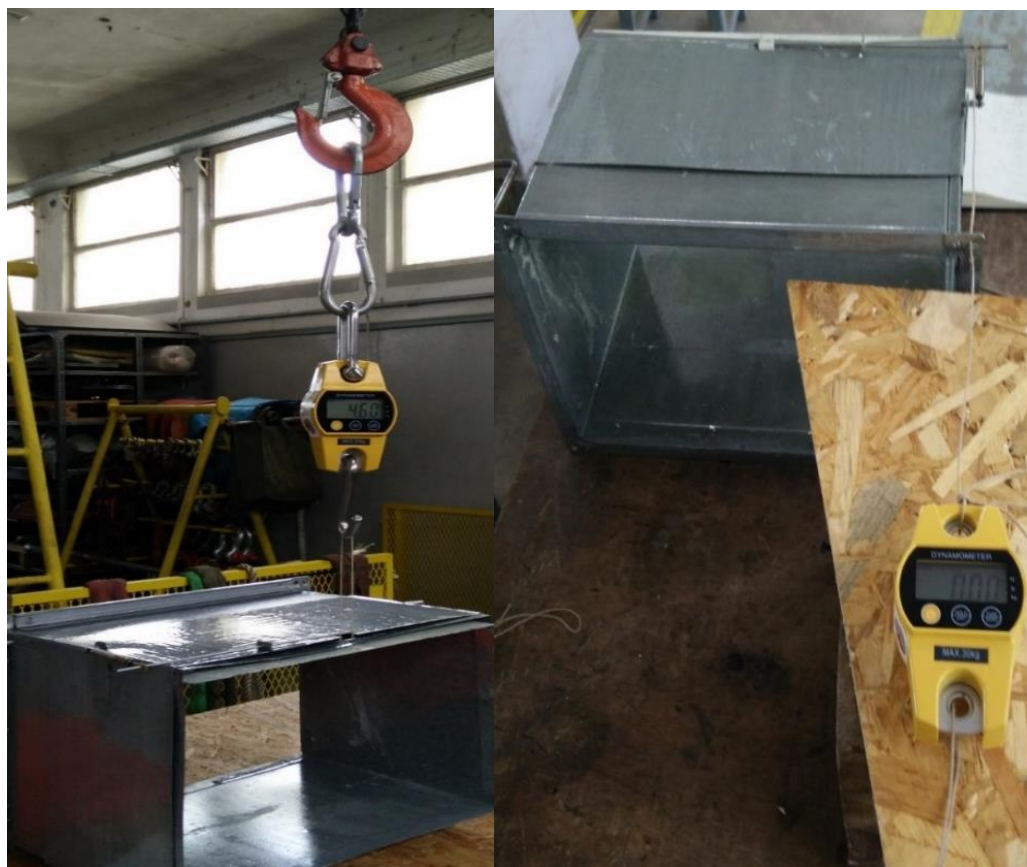


Figura 4.1 Ensaio do Dinamómetro para calculo da componente vertical (esquerda) e para o cálculo da componente horizontal (direita).

Para o ensaio do peso, suspendemos o flap com o auxilio de um cordel de kevlar e de seguida procedemos à libertação do flap, ficando suspenso. O cordel ficou preso no fecho do flap, sem a interação do varão. O valor que foi disponibilizado pelo dinamómetro foi de 4,60N, que corresponde à componente vertical, força que o flap exerce no varão.

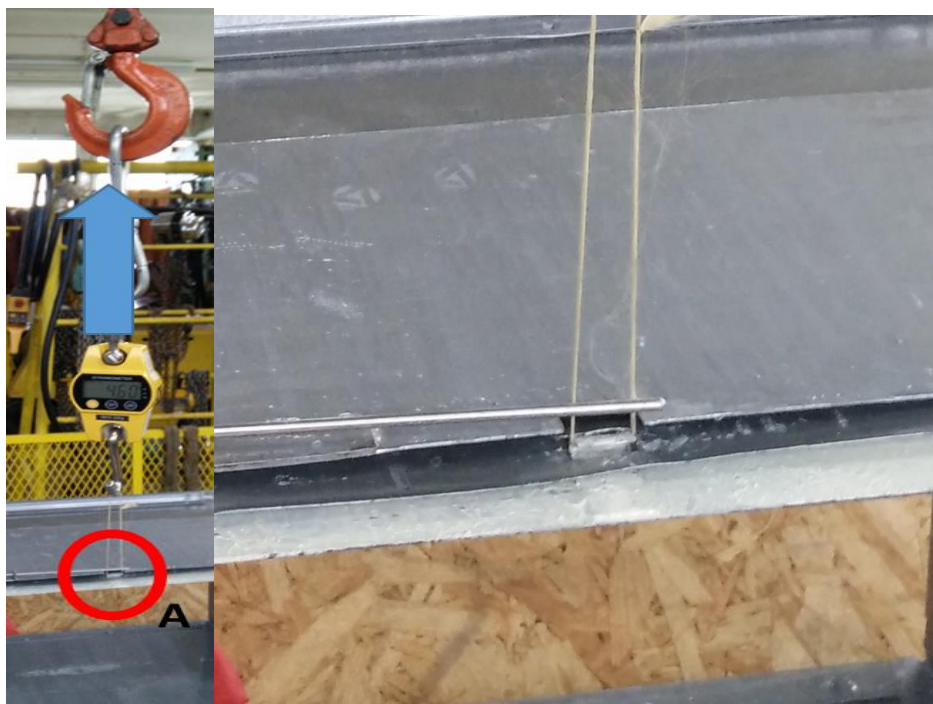


Figura 4.2 Esquema da componente vertical. A) vista pormenorizada do ponto de apoio

Em seguida procedemos ao cálculo da componente horizontal. Para este cálculo, foi colocado o Dinamómetro horizontalmente por forma a medir apenas a componente horizontal que a mola iria exercer no varão. Foi exercida força no Dinamómetro até este conseguir proceder à libertação do Flap.

Foram realizadas diversas séries de ensaios, tendo sido obtidos diversos valores embora o valor máximo obtido tenha sido de 4,30 N. De maneira a manter um fator de segurança, iremos ter em consideração o resultado de maior valor obtido.

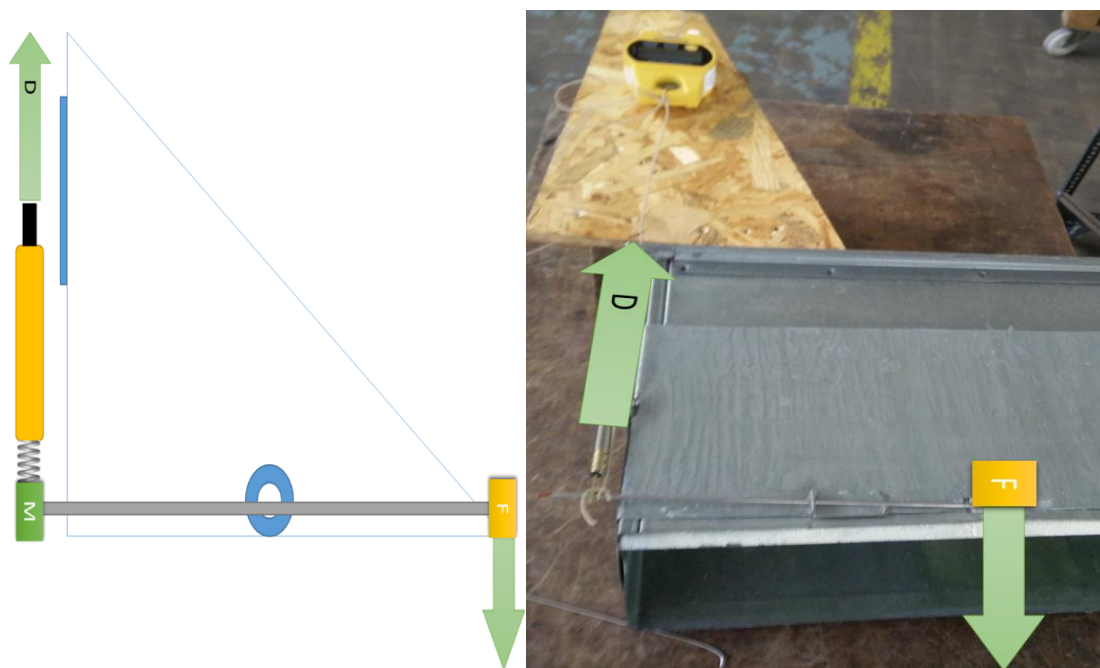


Figura 4.3 Esquema do cálculo da componente horizontal. D) representa a colocação do dinamómetro e o sentido da força que foi exercida na mola. F) representa o sentido do movimento da extremidade do varão para a queda do flap.

Com os resultados obtidos nestes ensaios, Tabela 4-1 podemos concluir que, para ocorrer a libertação do flap, a mola terá que ter uma força igual ou superior a 4,30N.

Para a escolha de qual o melhor ponto de apoio, iremos optar por um que tenha uma margem de segurança, de modo a que a mola consiga atingir esse valor, antes de atingir a força máxima disponível.

Tabela 4-1 Resultados obtidos no ensaio do Dinamómetro

Força	Forças (N)
Componente Vertical	4,60
Componente Horizontal	4,30

4.2. Caracterização termomecânica da mola

4.2.1. Análise DSC de uma mola

Os resultados obtidos pela análise de DSC das duas amostras, mola A e mola B, encontram-se no seguinte termograma onde estão representadas as curvas derivadas para o ciclo de arrefecimento (azul) e de aquecimento (vermelho), Figura 4.4 Os valores obtidos pelo DSC encontram-se representados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 Temperaturas de transformação das duas molas

Temperaturas de Transformação (°C)		
	Mola A	Mola B
Rs	-	53,5
Rf	-	69,3
Ms	65,7	25
Mf	52	15
As	33,6	44,5
Af	53,5	60,2

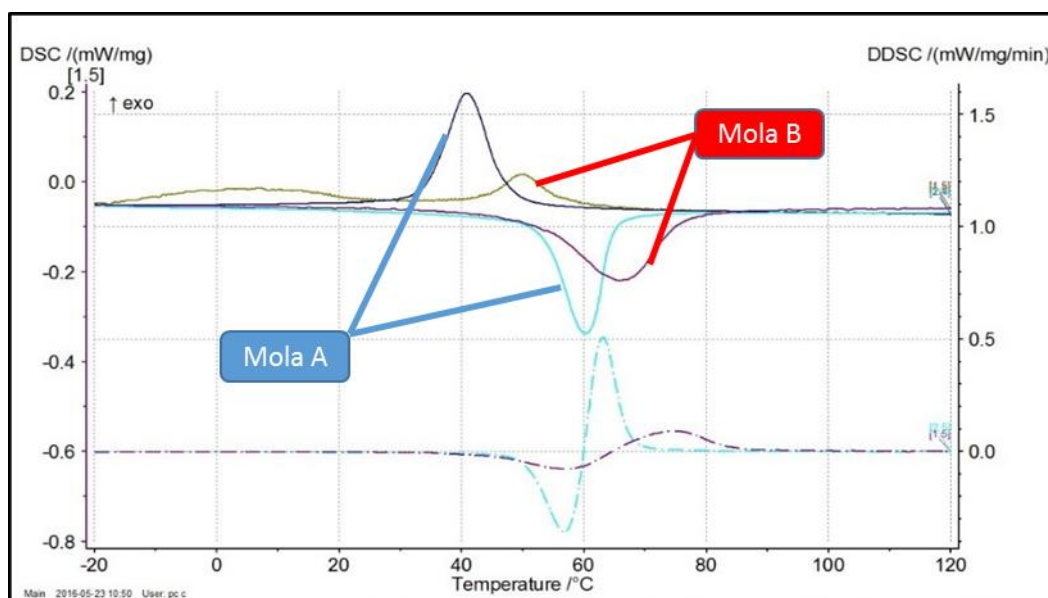


Figura 4.4 Resultados de ambos os ensaios realizados com as amostras da mola A e mola B.

4.2.2. Análise de resultados do ensaio DSC

Os picos positivos e negativos assinalam respetivamente as transformações exotérmicas (austenite-martensite) e as endotérmicas (martensite-austenite). A análise do resultado do DSC vai centrar-se apenas sobre o aquecimento da mola, uma vez que o mecanismo vai ser ativado pela alteração do estado martensítico para o austenítico, memória de forma simples.

4.2.3. Ensaio Termomecânicos das molas

Os valores obtidos nos ensaios termomecânicos das molas encontram-se representados no seguinte gráfico, estes ensaios foram apenas efetuados para a mola A. Em apêndice, encontram-se os três gráficos relativos a cada ensaio individual para os alongamentos iniciais das molas, 7,5mm, 10mm e 15mm.

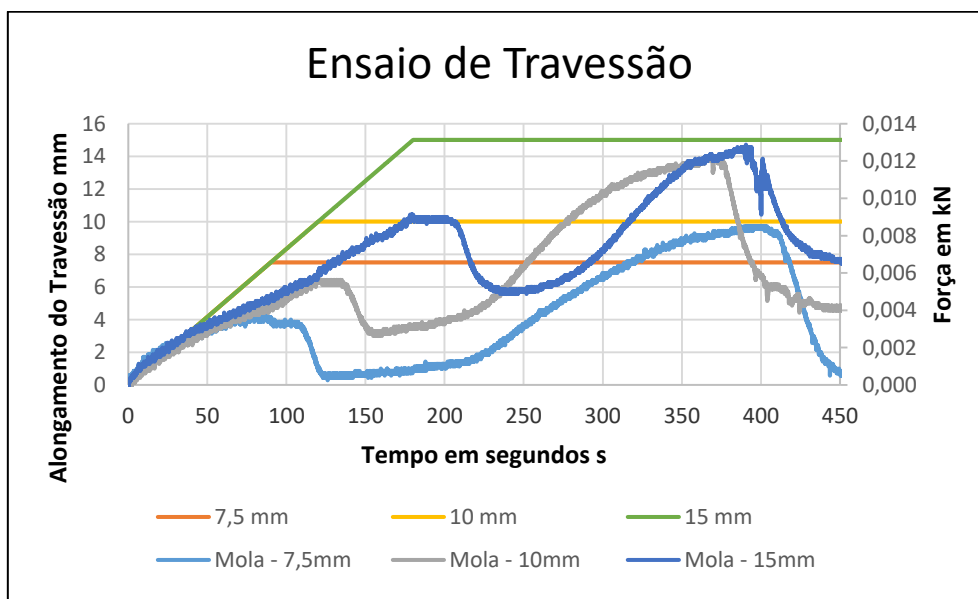


Figura 4.5 Resultados Ensaio de Travessão

Este gráfico apresenta não só os alongamentos das molas, mas sim a força de atuação por aquecimento da mola sujeita a diferentes alongamentos, ao ser tracionada pelo movimento ascendente do travessão, bem como o tempo e os valores da força que a mola foi exercendo ao longo do tempo.

De modo a tornar mais perceptível os valores máximos da força resultante dos ensaios, a Tabela 4-3 contem os resultados obtidos quanto aos valores mais elevados das respetivas forças da mola para os diferentes alongamentos.

Tabela 4-3 Valores das forças máximas obtidas

Alongamento da mola	Força Máxima N	Tempo decorrido para atingir a força máxima segundos
7,5 mm	8,5 N	401 s
10 mm	12 N	375 s
15 mm	12,5N	378 s

Com esta tabela, podemos verificar que a mola apresenta uma força desejável quando detém um alongamento inicial de 10mm, uma vez que com esta força seria possível fazer atuar o mecanismo. Iremos ter em consideração esta posição quando realizarmos os ensaios de tração da maquete e da conduta final.

4.3. Resultados Ensaios de Tração

Nos ensaios realizados na maquete, com a máquina de tração, foram obtidos diversos resultados que tinham como variáveis de estudo o tempo e a força exercida pela mola, Tabela 4-4. Por serem muitos os dados obtidos apresentamos aqui apenas os resultados relevantes resumidos em duas tabelas, cada uma sobre a respetiva mola, publicando em apêndice B os diversos dados de cada ensaio.

Tabela 4-4 Resultados dos vários ensaios de forças da mola A

Ponto de Apoio	Ponto A	Ponto B	Ponto C
Alongamento da mola			
0mm	2,75 N	5,5 N	8,4 N
10mm	5,5 N	14 N	14 N
15mm	5,5 N	14 N	26N

Após estes ensaios, será construída uma cinta na conduta com um ponto de apoio fixo e com um alongamento da mola inicial. Para tal, a escolha do ponto de apoio e do alongamento inicial da mola, terá que ser concordante, entre a mola A e a mola B.

Na realização do ensaio com a segunda mola B, apenas realizámos quatro testes, Tabela 4-5. Tendo por base os valores obtidos anteriormente, consideramos três pontos de apoio e dois alongamentos iniciais, procedendo à realização de quatro testes:

- Ponto de Apoio A com um alongamento de 15mm;
- Ponto de Apoio B com um alongamento de 10mm e 15mm;
- Ponto de Apoio C com um alongamento de 10mm.

Tabela 4-5 Resultados dos vários ensaios de forças da mola B.

Ponto de Apoio Alongamento da mola	Ponto A	Ponto B	Ponto C
0mm	-	-	-
10mm	-	9 N	30 N
15mm	4,5N	13 N	-

4.4. Discussão dos ensaios

Os ensaios realizados na máquina de tração tinham como principal objetivo medir a força exercida pela mola, quando esta tinha como principal estímulo a temperatura.

As variáveis que foram estudadas foram o alongamento inicial da mola (chapa da mola) e o ponto de apoio.

O valor obtido no ensaio do dinamómetro para que a mola exerça força suficiente para a libertação do flap é de 4.30 N, valor calculado anteriormente pelo ensaio do dinamómetro. Tendo isto em conta e considerando uma margem de segurança, decidimos que os parâmetros escolhidos serão o ponto de apoio B e um alongamento inicial da mola de 10 mm Figura 4.6

Com esta escolha, na mola A, o valor máximo será 14 N e na mola B o valor máximo será 9 N, ambos eficientes na libertação do flap e na realização do curso superior a 1mm, tendo este sido visualmente eficaz.

Estes valores variam, uma vez que a mola B em que foi efetuado o teste possui uma forma diferente da mola A. Para que seja possível que os valores sejam iguais, a mola B teria que estar maquinada e construída na mesma capsula da mola A.

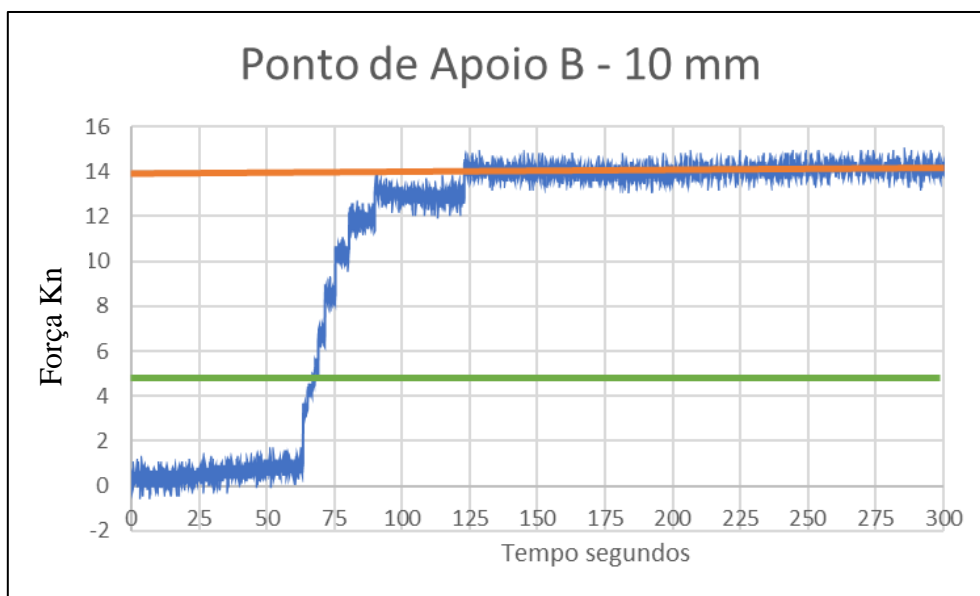


Figura 4.6 Parâmetros que melhor condicionam o ensaio para a mola A.

No eixo horizontal encontra-se representado o tempo do ensaio, em segundos, e no eixo vertical está representada a força, em Newtons, que a mola exerceu sobre a garra de tração ao longo do ensaio. Foram traçadas duas linhas de referência nestes gráficos:

- A linha laranja, que representa o valor médio da força que a mola exerceu na extremidade do varão nesse mesmo ensaio;
- A linha verde, delimita quando ao longo do ensaio ocorre a força mínima que a mola terá que exercer, para a libertação do flap.

Relativamente à primeira mola, consideramos relevante a seguinte combinação de variáveis: o ponto de apoio B e um alongamento inicial de 10mm. Neste ensaio, a força máxima verificada foi de 14 N sendo de realçar que, antes dos 70 segundos do ensaio, a mola demonstrou força suficiente para a libertação do flap.

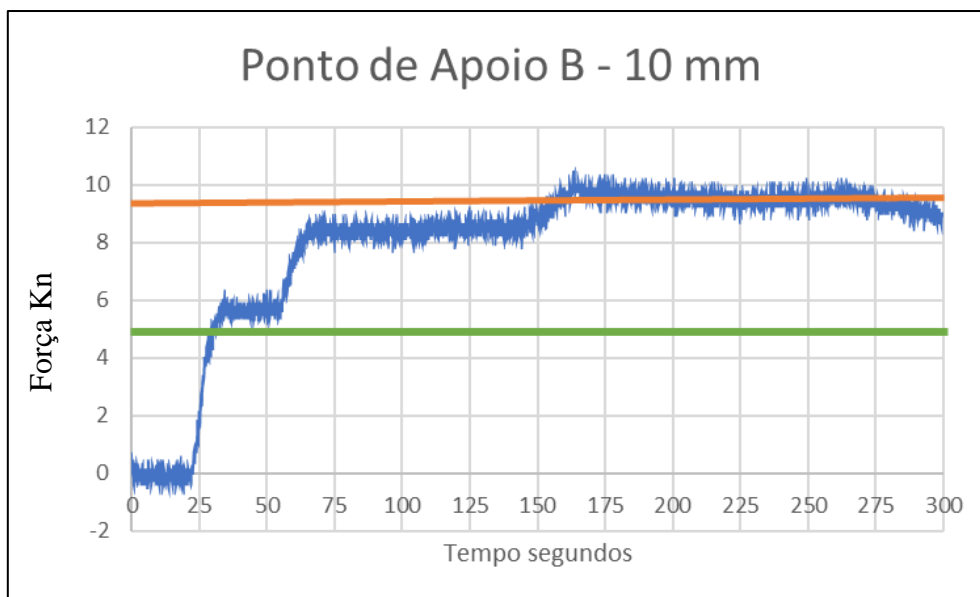


Figura 4.7 Parâmetros que melhor condicionam o ensaio para a mola A.

Na segunda mola, para termos uma melhor otimização da força, considerámos a utilização do ponto de apoio B e de um alongamento inicial de 10 mm. É possível verificar que a mola irá ter uma força máxima de 9 N e, aproximadamente 30 segundos após o início do ensaio, a mola possui a força suficiente para a libertação do flap, Figura 4.7.

Resumindo, a escolha do ponto de apoio B, permite uma margem de movimento ao varão no fecho, fazendo com que seja possível realizar um curso bastante superior a 1 cm em ambas as molas, sendo previsível que irá sempre ocorrer a libertação do flap.

4.5. Construção e teste de mecanismo completo

Após a discussão dos resultados obtidos, procedeu-se à construção do mecanismo na cinta que envolve a conduta e de todos os componentes que a ela serão fixos, por forma a permitir a realização do último teste, para se verificar qual o tempo de reação e de fiabilidade do mecanismo.

Neste mecanismo assim construído, utilizámos o ponto de apoio localizado no ponto B, 10cm do fecho e colocámos uma chapa de apoio do fixe da mola para que a mola A tenha um alongamento de 10mm. Este teste final foi apenas efetuado para a mola A. Figura 4.8.

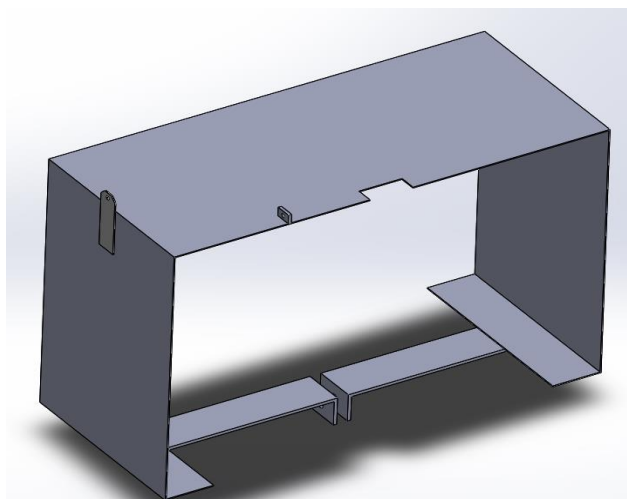


Figura 4.8 Cinta com o Ponto de Apoio B e uma chapa do Ponto de Apoio para a alongamento inicial de 10mm para a mola A, SW 2014.

Procedeu-se então à realização de um teste final para verificar o tempo e a temperatura necessários para a ativação do sistema.

Foi medida a temperatura da mola pelo termopar e qual o valor em que ocorria a libertação. Neste mecanismo, sendo a mola B menos comprida que a mola A, a adaptação entre as molas é feita por um adaptador com 3cm de comprimento. Este adaptador não irá alterar a força de reação, mas apenas fará com que a mola B, com o alongamento inicial de 10mm, consiga obter o resultado esperado, Figura 4.9.

Procedeu-se ao início do teste, utilizando a mola A, (Desenho N° 08.26510.16). As condições iniciais do teste foram a temperatura ambiente, 25 °C, e de seguida procedeu-se a um aumento gradual da potência da fonte térmica em que a exposição térmica foi aumentando até estabilizar nos 90 °C. Após esta estabilização, aguardámos uns momentos e procedemos ao seu aumento de temperatura até aos 115 °C, tendo o mecanismo sido ativado antes de o termopar ter registado 100 °C. O valor da temperatura em que ocorreu a libertação do flap foi de 92 °C, sendo esta a temperatura onde se regista o valor da força suficiente para o funcionamento do mecanismo. (Desenho N° 10.26510.16)

Tabela 4-6 Tempo e Temperatura mínima para a atuação do mecanismo

Tempo	Temperatura	Tipo de Mola
1min	92°C	Mola A

Constatou-se, tal como se previa, que a libertação do mecanismo ocorreu dentro de um tempo inferior a 60 segundos, Tabela 4-6.

Numa situação real, o mecanismo poderá libertar o flap antes deste tempo, uma vez que a exposição térmica a que a mola se encontrará sujeita será mais concentrada, levando a mola a aquecer de uma maneira mais rápida e causando a sua libertação de uma maneira mais célere.

Nos ensaios efetuados houve um aumento gradual da temperatura, não dando tempo suficiente a que a mola pudesse proceder à transformação de estado. Nestes ensaios, a mola não iniciava a transformação e o seu comportamento a uma temperatura mais baixa do que era disponibilizado pelo termopar. Com este teste, foi possível a verificação da fiabilidade do mecanismo, da conduta e da mola quer na reação à temperatura quer na força necessária para a libertação do fecho.

Tendo demonstrado um resultado bastante positivo, podemos concluir que a mola B irá igualmente mostrar um resultado semelhante, tendo apenas uma temperatura de início de transformação menor.

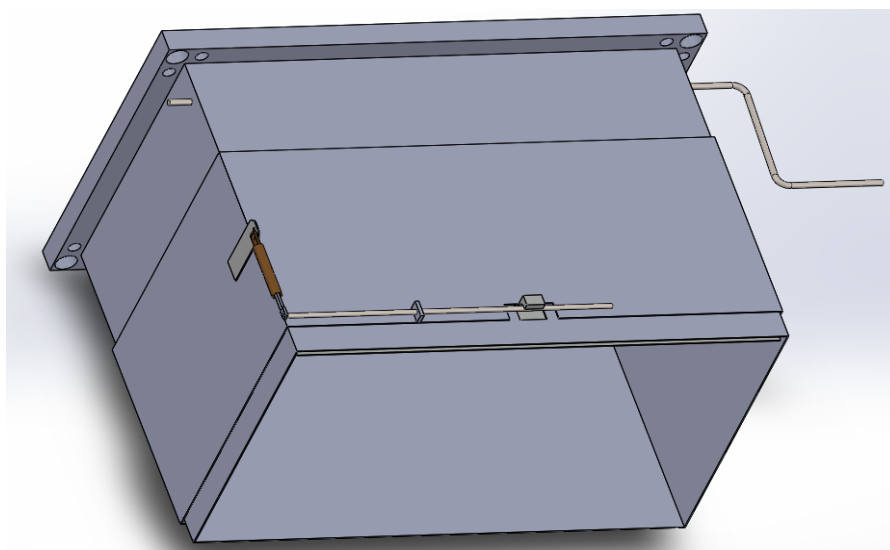


Figura 4.9 Conduta com mecanismo e mola para ensaio final, SW 2014

5. Conclusões

Neste trabalho foi estudada a viabilidade da utilização dos atuadores com molas de Ni-Ti como dispositivos de segurança, orientados para o fecho das condutas de ventilação a bordo dos navios. Estas ligas, possuem todas as propriedades necessárias para a sua utilização em meios navais, sendo de realçar a sua resistência à corrosão, a necessidade de manutenção espaçada no tempo e a capacidade de absorção das vibrações. As conclusões retiradas confirmam a sua eficácia para estas aplicações práticas.

5.1. Caracterização da mola de liga Ni-Ti

Os ensaios realizados com as molas de Ni-Ti permitiram obter diversos conhecimentos essenciais relativos às características e qualidades que aconselham a sua utilização no mecanismo. Para a obtenção das características, foram efetuados ensaios térmicos através do DSC, ensaios termomecânicos realizados na máquina de tração e ensaios numa maquete, que simula o mecanismo total.

Ensaio DSC

Os resultados obtidos no DSC permitem deduzir, qual o valor das temperaturas em que ocorrem as transformações de fase, sendo também possível verificar as fases presentes durante o ciclo térmico.

Quando comparados os dois termogramas dos ensaios DSC, conclui-se que a mola A possui um início de transformação numa gama de temperatura menor, quando comparada com a mola B. Aquela mola tem também o seu fim de transformação mais cedo que a mola B. Os resultados obtidos permitem saber que o comportamento do atuador, não deverá sofrer alterações ao que inicialmente foi estipulado.

Ensaios Termomecânicos das molas

Os ensaios realizados na máquina de tração, tendo como elemento a mola, permitiram estudar o respetivo comportamento, variando o seu alongamento inicial.

A força verificada nos ensaios de travessão está diretamente dependente da distensão inicial da mola. Uma vez que a temperatura foi uma variável constante em todos os ensaios, foi possível verificar de que maneira a mola iria proceder à libertação dos valores de força desejados. Tendo por base os resultados obtidos, foi possível a escolha dos alongamentos iniciais da mola, que seriam posteriormente estudadas na maquete, não havendo valores muito discrepantes.

Maquete

Os ensaios realizados na máquina de tração, tendo como elemento de estudo o mecanismo da maquete, demonstraram quais as posições, quer da mola, quer do ponto de apoio, que poderiam ser utilizadas para a libertação do mecanismo. Nestes ensaios, foi possível proceder à seleção dos parâmetros que seriam usados na construção final da conduta. Demonstrando um resultado positivo e, de certa forma, tendo uma margem de segurança para possíveis atritos e deformações, que possam surgir com o tempo na conduta, a resposta será sempre eficaz. Esta margem é gerada pela distância do ponto de apoio que permite a execução de um curso satisfatório e de uma força do varão para a libertação do flap com um valor superior ao que foi anteriormente calculado pelo ensaio do dinamómetro.

5.2. Conduta final

A construção da maquete para os ensaios mostrou-se eficaz na simulação do comportamento da estrutura final da conduta, sendo tal situação visível, pelos resultados obtidos, quer analiticamente quer pelos ensaios efetuado. O mecanismo presente na conduta final apresentou uma resposta satisfatória e bastante precisa aos estímulos provocados. A possibilidade de alteração das gamas de temperaturas através da escolha de diferentes atuadores do mecanismo, como foi estudado, é uma mais valia devido à adaptabilidade do mecanismo às necessidades e condições dos locais onde pode vir a ser aplicado.

A utilização destas molas apresenta diversas vantagens, sendo de realçar a sua alta sensibilidade e precisão de atuação, o fato de não requererem a utilização de lubrificantes nem de engrenagens para a sua movimentação, sendo uma grande vantagem para a sua manutenção. Não necessitam de amortecedores, uma vez que a própria mola consegue absorver as vibrações geradas pelo navio, e são resistentes à corrosão, sendo um fator muito relevante a ter em conta, uma vez que o navio se encontra num ambiente bastante corrosivo gerado pela proximidade do mar.

De acordo com os resultados obtidos, ficou provado que a criação de um mecanismo simples, fiável e com um rácio de força/volume melhor que os atuadores convencionais, que consegue cumprir com o seu objetivo, impedir entrada de ar e saída de fumo, dentro de um tempo bastante satisfatório é uma solução a adaptar em futuras situações.

5.3. Trabalhos futuros

Tendo em vista obter uma otimização do presente trabalho relativo às ligas com EMF, seria importante considerar a sua aplicação para melhorar a atuação e controlo do incêndio a bordo de navios. Para tal é necessário que exista uma cooperação entre sistemas pois estes mecanismos mecânicos são totalmente independentes da energia elétrica, mas possuem uma vantagem quando comparados com os sistemas convencionais.

Seria fundamental, adaptar um alarme mecânico a este sistema, por exemplo um apito, por forma a que se mantenha um sistema totalmente mecânico e possibilite o alarme quando ocorrer a libertação do flap. Este apito poderá ser pneumático ou ter um mecanismo auxiliar para manter a sua independência dos circuitos elétricos.

Seria também muito aconselhável, o estudo da viabilidade de um mecanismo de segurança, utilizando materiais com memória de forma, para deteção e contenção de alagamentos a bordo dos navios.

Por último, seria de grande interesse a realização de um estudo para a aplicabilidade deste mecanismo nos diversos compartimentos de um navio. Nesse estudo, ter-se-á que ter em conta todas as limitações e características do compartimento e a necessidade de ter este mesmo mecanismo aplicado não só ao sistema de ventilação do compartimento, mas também a todos os acessos, por forma a que seja impossibilitada a abertura de um compartimento quando neste possa existir o fenómeno de *Backdraft*.

O mecanismo, necessitaria igualmente de uma ampliação da sua localização dos atuadores para que a deteção do incêndio conseguisse ser mais abrangente, no caso de compartimentos de maiores dimensões, podendo igualmente ter em conta a temperatura de combustão dos diversos equipamentos que se encontrem nesse espaço.

6. Bibliografia

- ASSIS, A.K.T. (2008). *Arquimedes, o Centro de Gravidade e a lei da Alavanca*, Canada, Apeiron Montreal.
- AUGUSTO, Adriano Ernesto Loureiro (2013), *Construção de um Protótipo de um sistema de Propulsão Submarino recorrendo a Ligas com Memória de Forma*, Dissertação de Mestrado em Ciências Militares Navais Engenharia Naval Ramo de Mecânica apresentada na Escola Naval, Almada.
- CUNHA, Luís V. da, (1999), *Desenho Técnico*, Fundação Calouste Gulbenkian
- DOBIE, Gref, (2015), *Allianz Global Corporate & Specialty- Safety and Shipping Review 2015*, Alemanha.
- FERNANDES, F. M. Braz (2012). *Ligas com memória de Forma*, UNL, Lisboa.
- HUANG, W. (1998). *Shape Memory Alloys and their Application* (tese de Doutoramento). Cambridge: University of Cambridge.
- HUMBEECK, J. (1999). Non-Medical Applications of Shape Memory Alloys. *Material Science and Engineering*, 134-148.
- JOHNSON, A. et al. (2014), Frangible Shape Memory Alloy Fire Sprinkler Valve Actuator. US Patente No. 8,684,101.
- LAGOUDAS, Dimitris C. (2008), *Shape Memory Alloys. Modeling and Engineering Applications*, Texas, Springer.
- MARINHA PORTUGUESA (2009), *Teoria de Incêndios PEETNA 2702*, Escolas de Tecnologias Navais – Departamento de Limitação de Avarias.
- _____ (2011), *Organização da Limitação de Avarias PEETNA 2502*, Escolas de Tecnologias Navais – Departamento de Limitação de Avarias.
- _____ (2013), *Teoria Navios Patrulha Oceânico – Manual de sistema do AVAC*.

- MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO INTERNA. (2011), *Segurança contra Incêndios em Edifícios – Nota Técnica Nº16 Sistemas automáticos de extinção por água*. Autoridade nacional de Proteção Civil.
- OTSUKA, K., & Ren, X. (2005). *Shape Physical Metallurgy of Ti-Ni-Based Shape Memory Alloys*. *Science*, 50(5), 511-678.
- OTSUKA, K., & Wayman C, C. (2002). *Shape Memory Materials*, United Kingdom, Cambridge University Press.
- PINHEIRO, Pedro (2014), *Inalação de Fumaça em Incêndios*,
<http://www.mdsau.de.com/2013/01/fumaca-incendio.html>, acessado em dezembro de 2015.
- ROBERTO, A. Possidónio e Carlos F. Castro (2010), *Manual de exploração de Segurança contra Incêndios em Edifícios*, Lisboa, APSEI.
- WHITE J. (2012), *An Experimental Analysis of Firefighter Protective Clothing: The Influence of Moisture and a Thermally Activated Expanding Air-Gap*, Tese de Doutorado, Universidade de Maryland, College Park.

7. Apêndices

Apêndice A

Ensaio termomecânico à mola, com recurso ao travessão da máquina de tração.

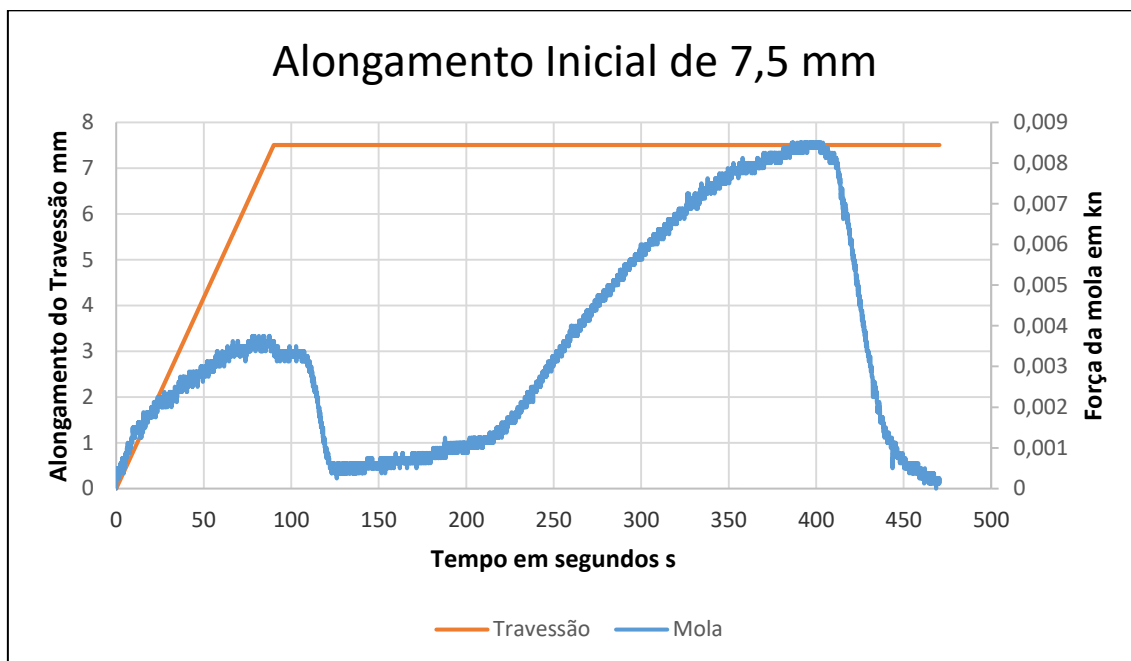


Figura 7.1 Ensaio termomecânico da mola com alongamento inicial de 7,5mm.

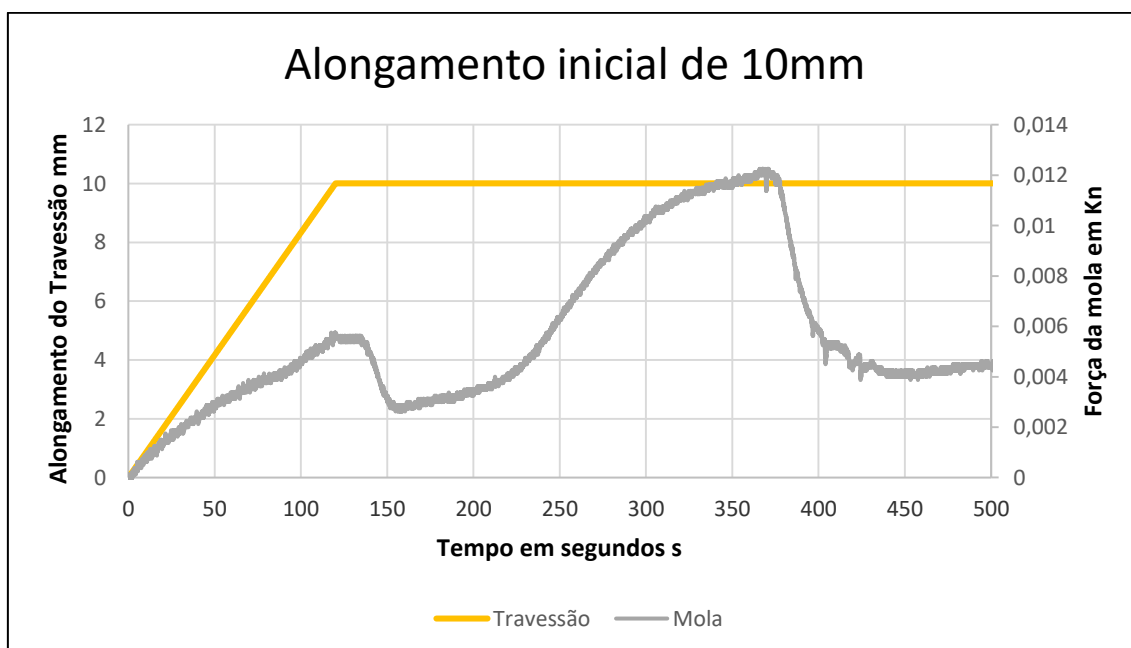


Figura 7.2 Ensaio termomecânico da mola com alongamento inicial de 10mm

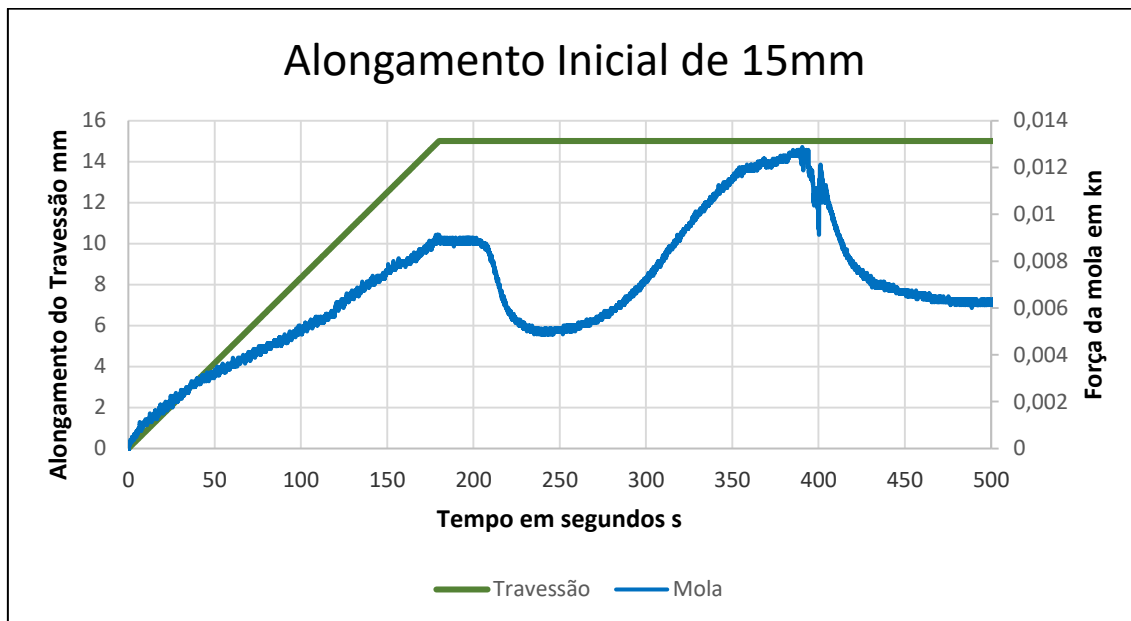


Figura 7.3 Ensaio termomecânico da mola com alongamento inicial de 15mm

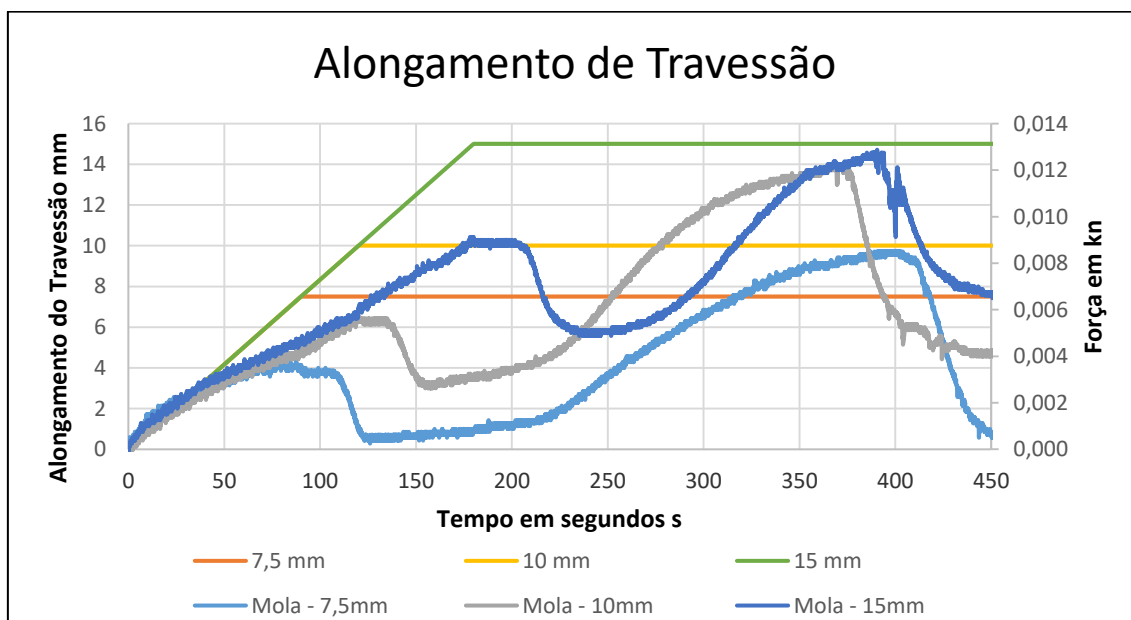


Figura 7.4 Ensaio termomecânico com as três molas e respectivos valores das forças

Apêndice B

Ensaio termomecânicos realizados na maquete, com a utilização da mola A de Ni-Ti.

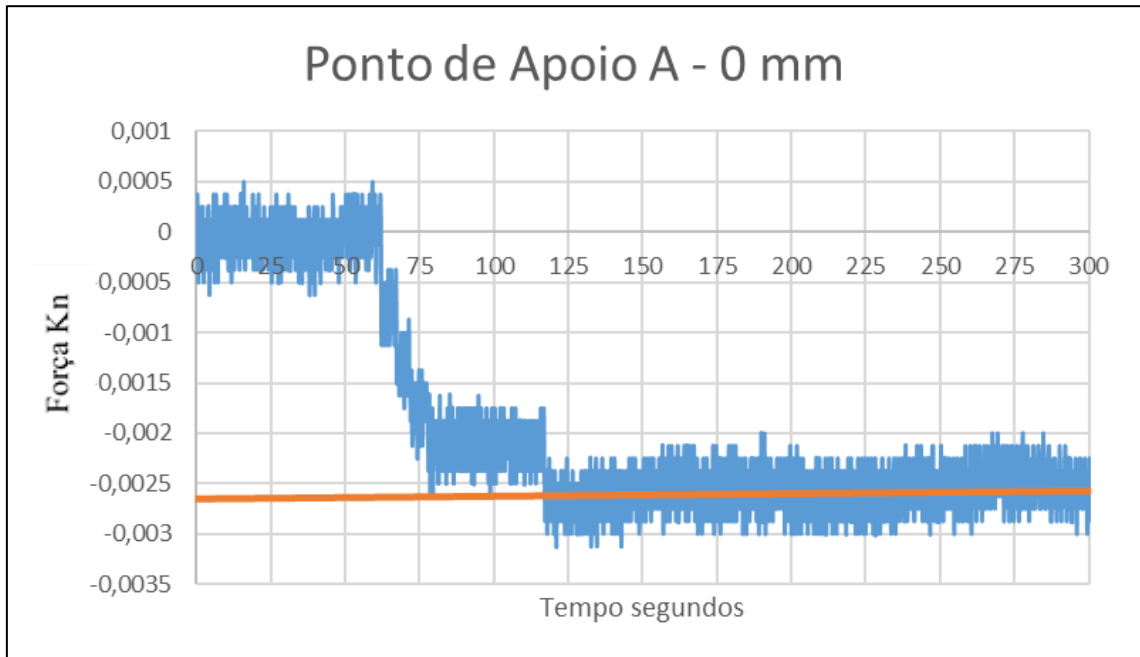


Figura 7.5 Ensaio de tração, Ponto de apoio A e alongamento inicial da mola A de 0mm

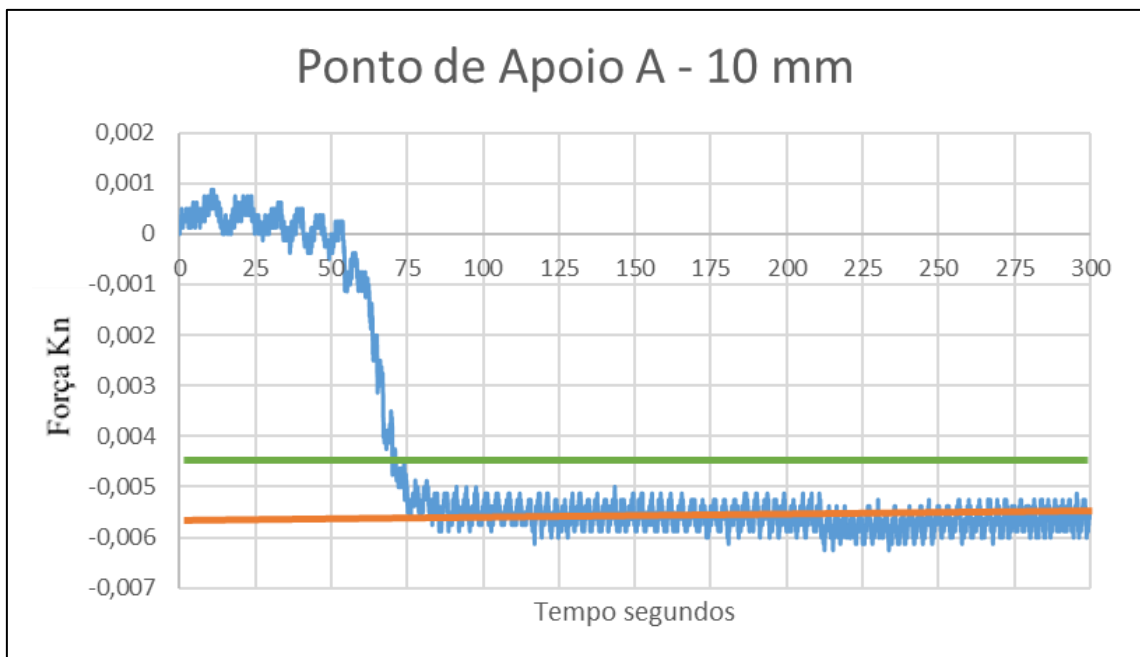


Figura 7.6 Ensaio de tração, Ponto de apoio A e alongamento inicial da mola A de 10mm

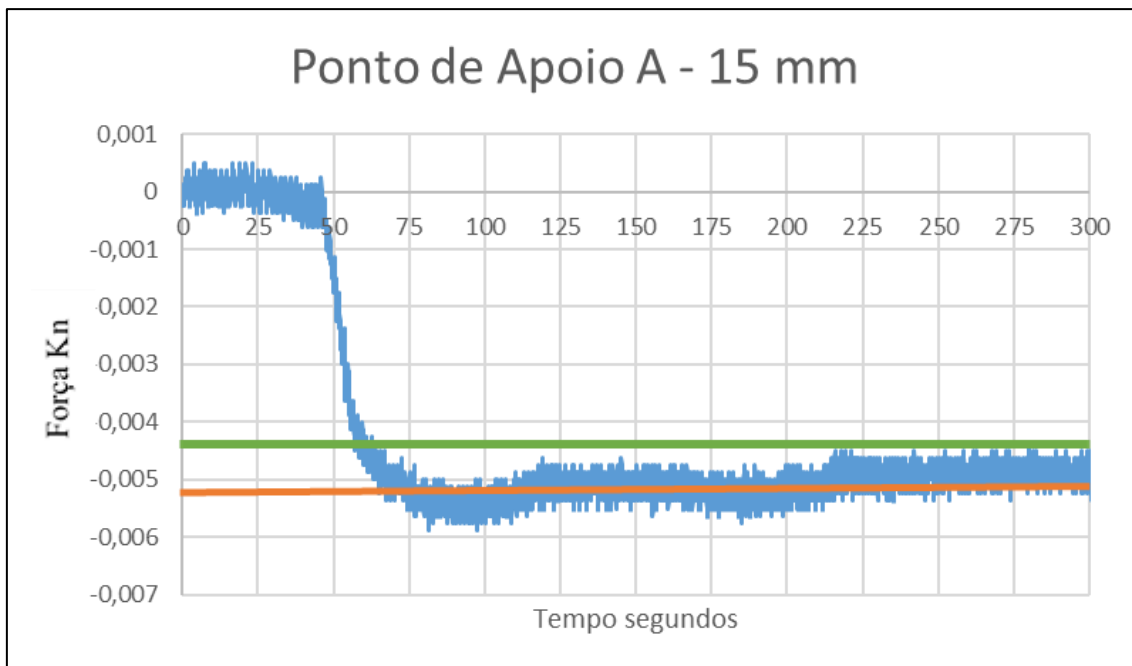


Figura 7.7 Ensaio de tração, Ponto de apoio A e alongamento inicial da mola A de 15mm

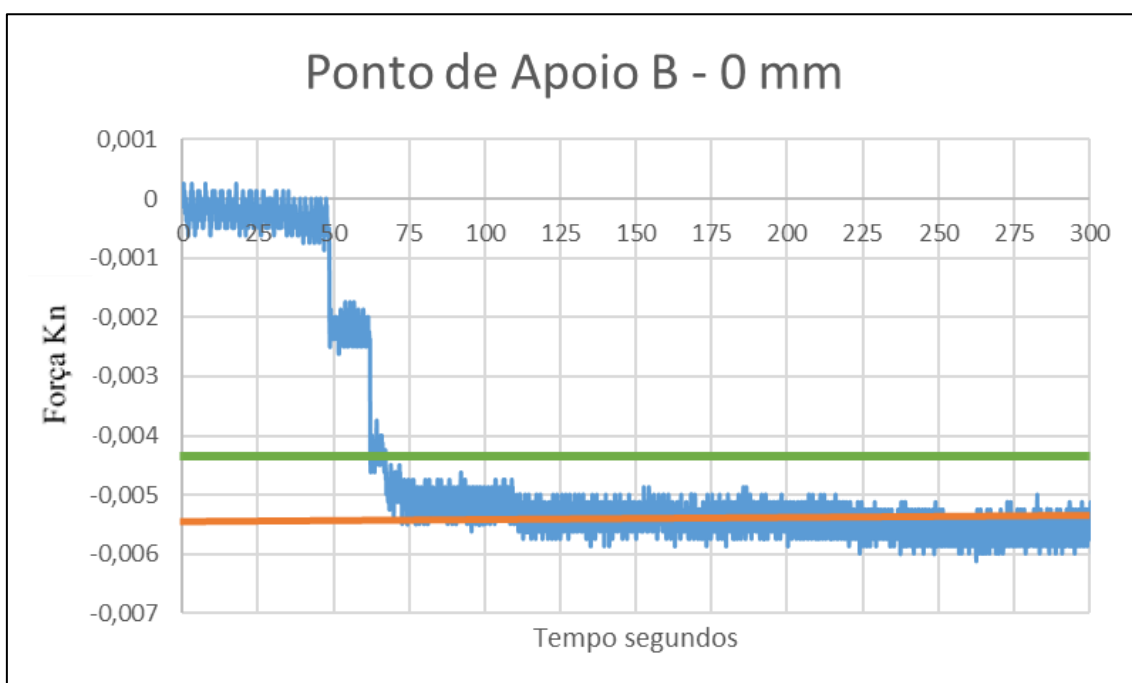


Figura 7.8 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola A de 0mm

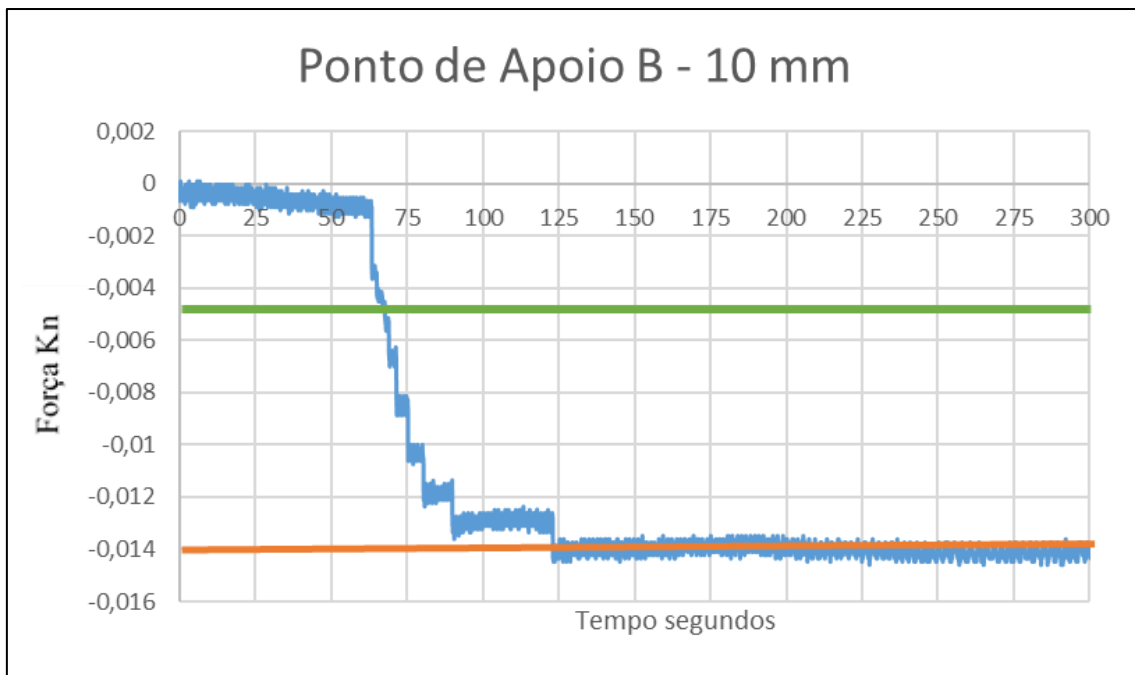


Figura 7.9 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola A de 10mm

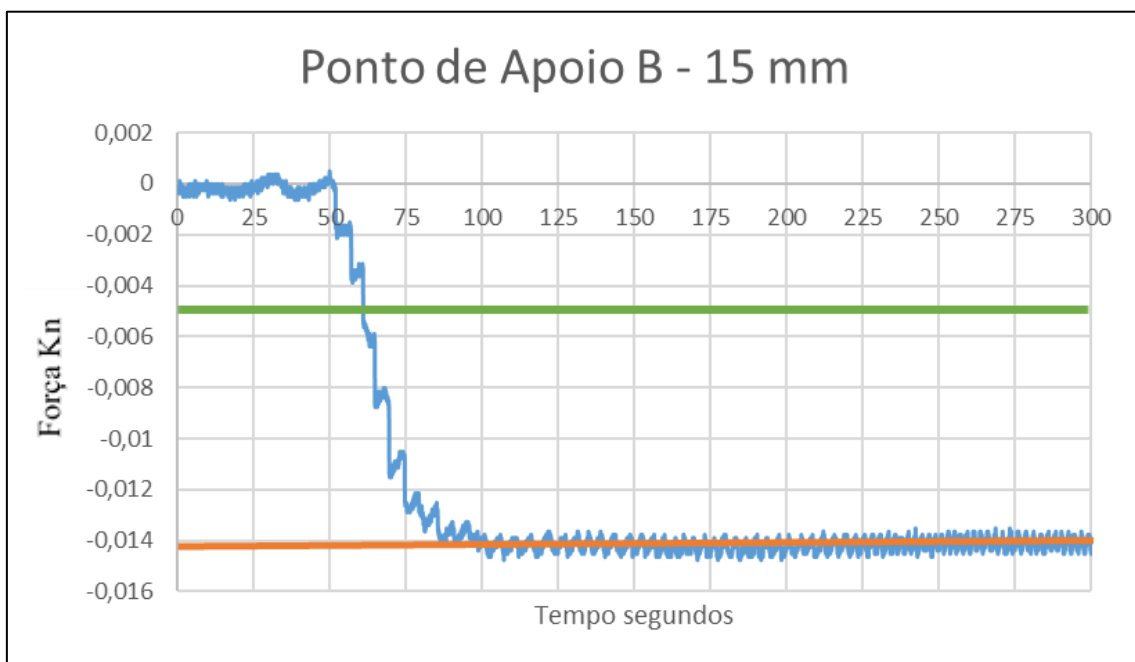


Figura 7.10 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola A 15mm

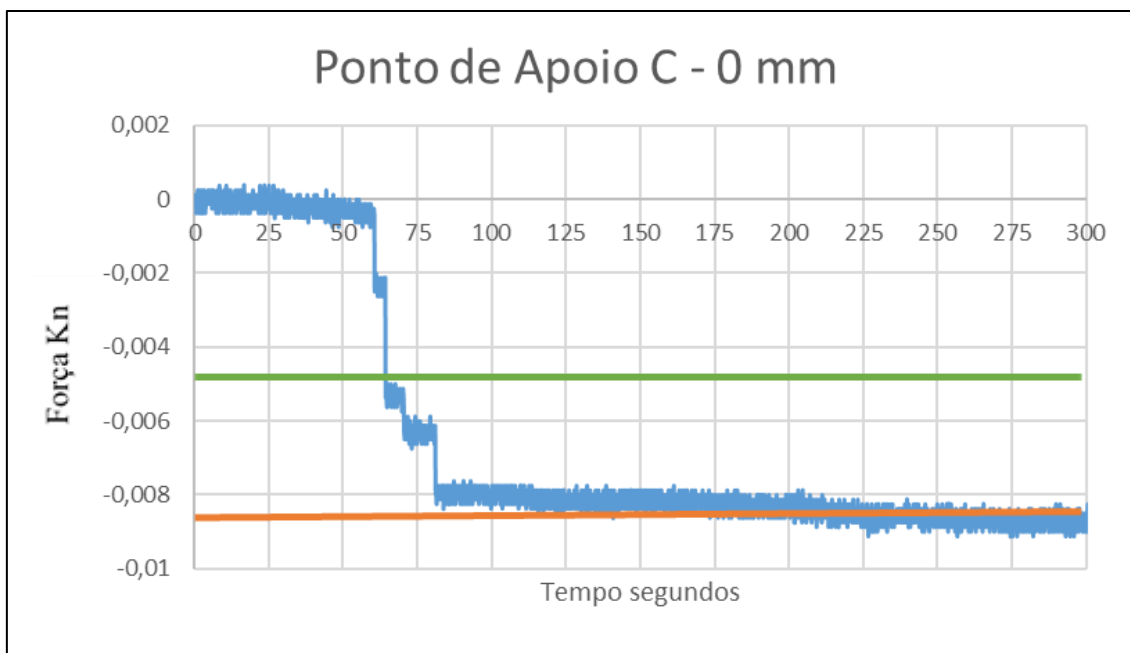


Figura 7.11 Ensaio de tração, Ponto de apoio C e alongamento inicial da mola A de 0mm

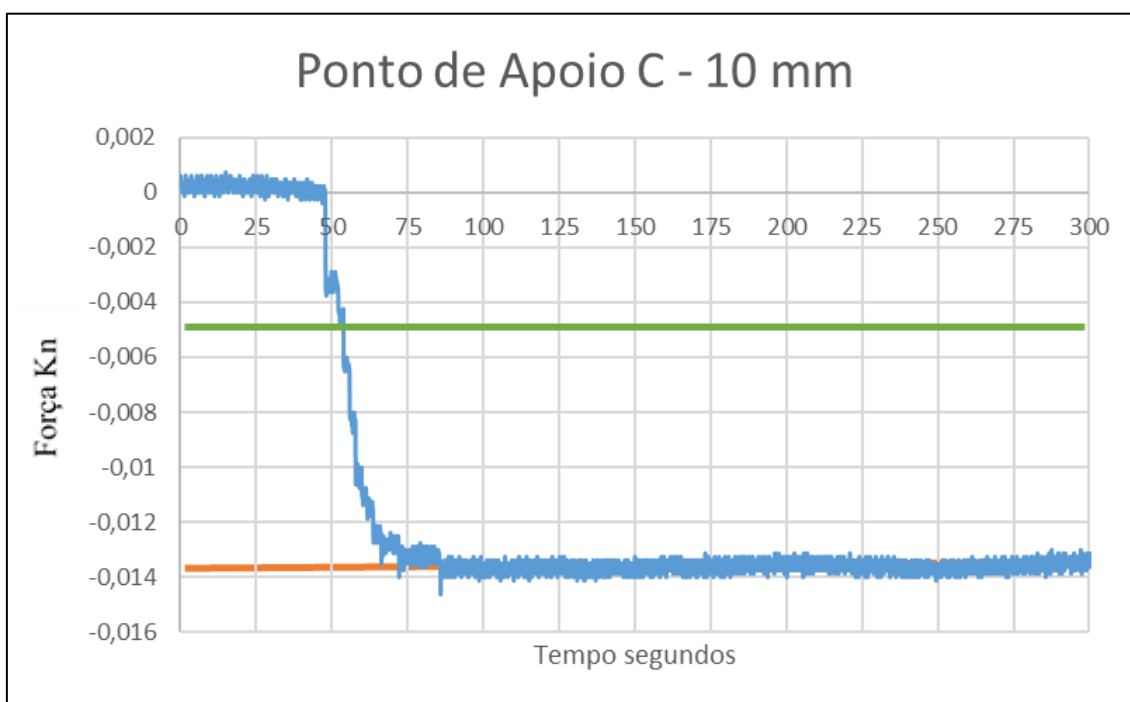


Figura 7.12 Ensaio de tração, Ponto de apoio C e alongamento inicial da mola A de 10mm

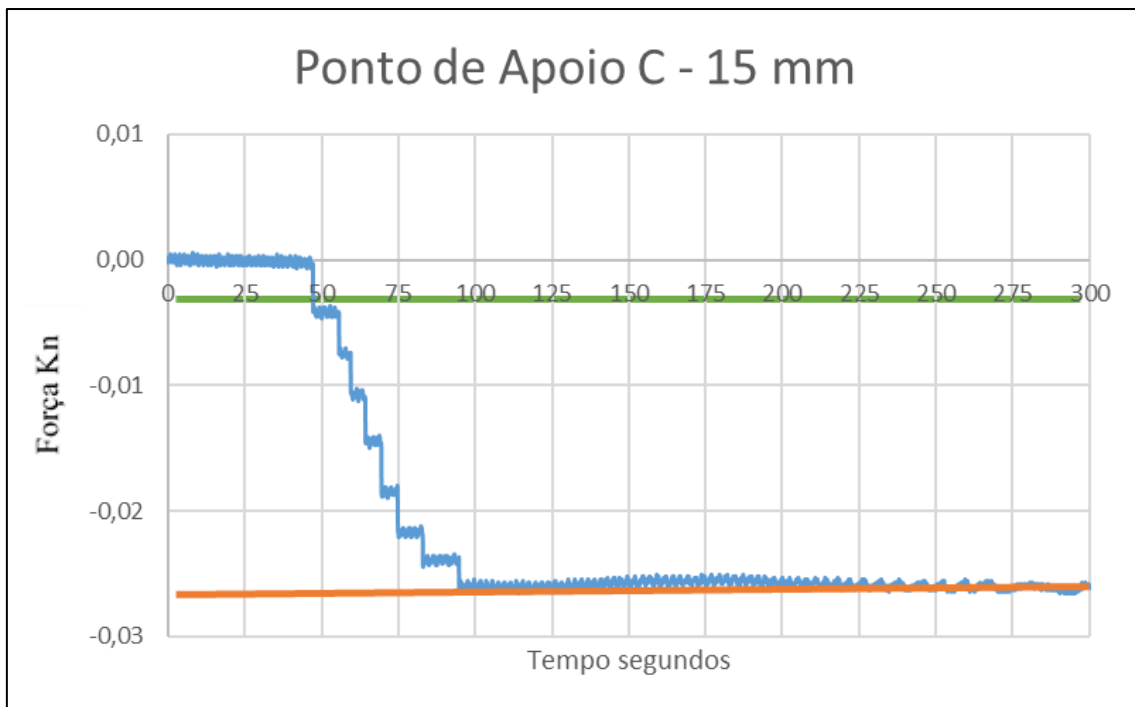


Figura 7.13 Ensaio de tração, Ponto de apoio C e alongamento inicial da mola A de 15mm

Apêndice C

Ensaio termomecânicos realizados na maquete, com a utilização da mola B de Ni-Ti.

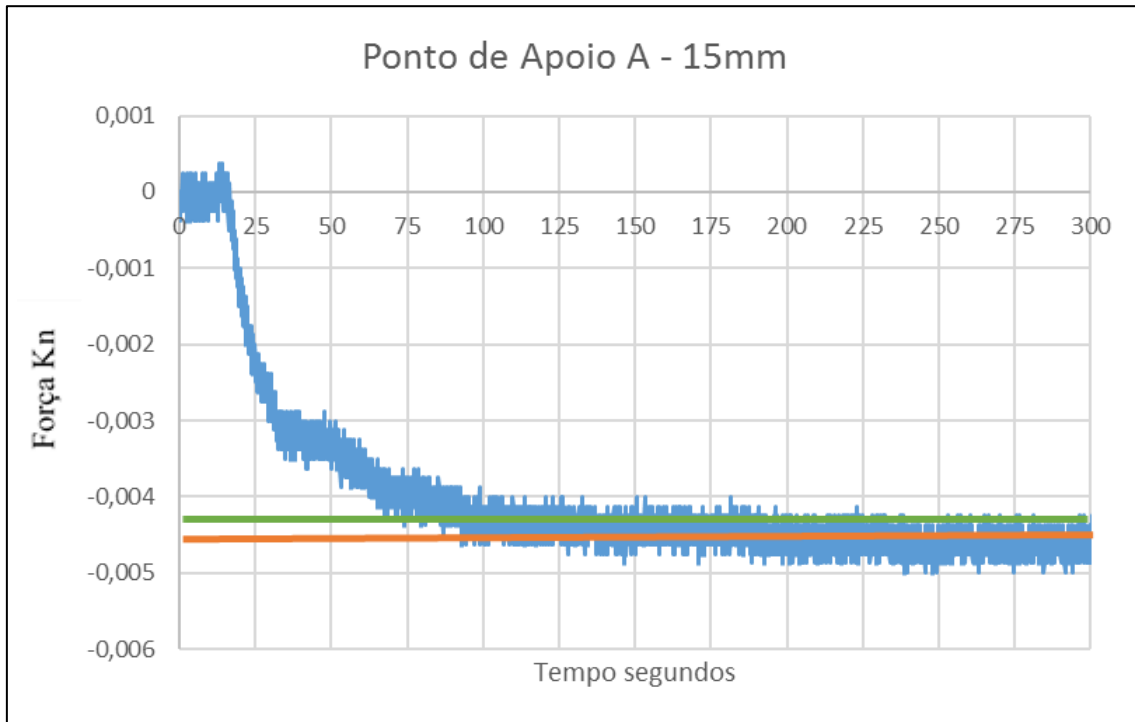


Figura 7.14 Ensaio de tração, Ponto de apoio A e alongamento inicial da mola B de 15mm

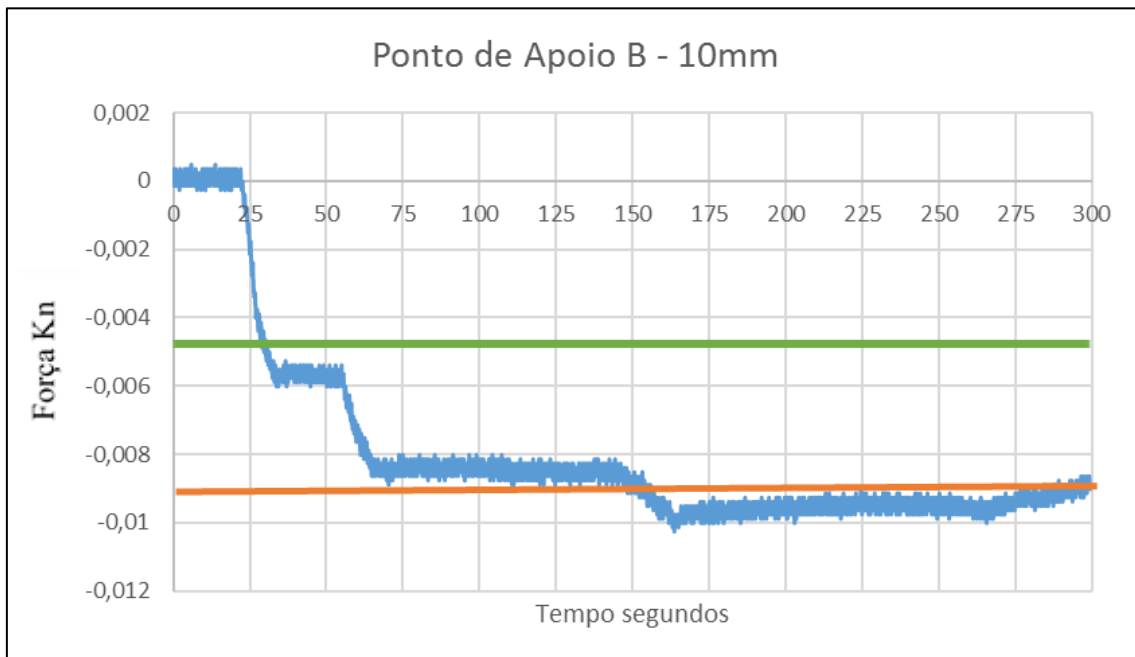


Figura 7.15 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola B de 10mm

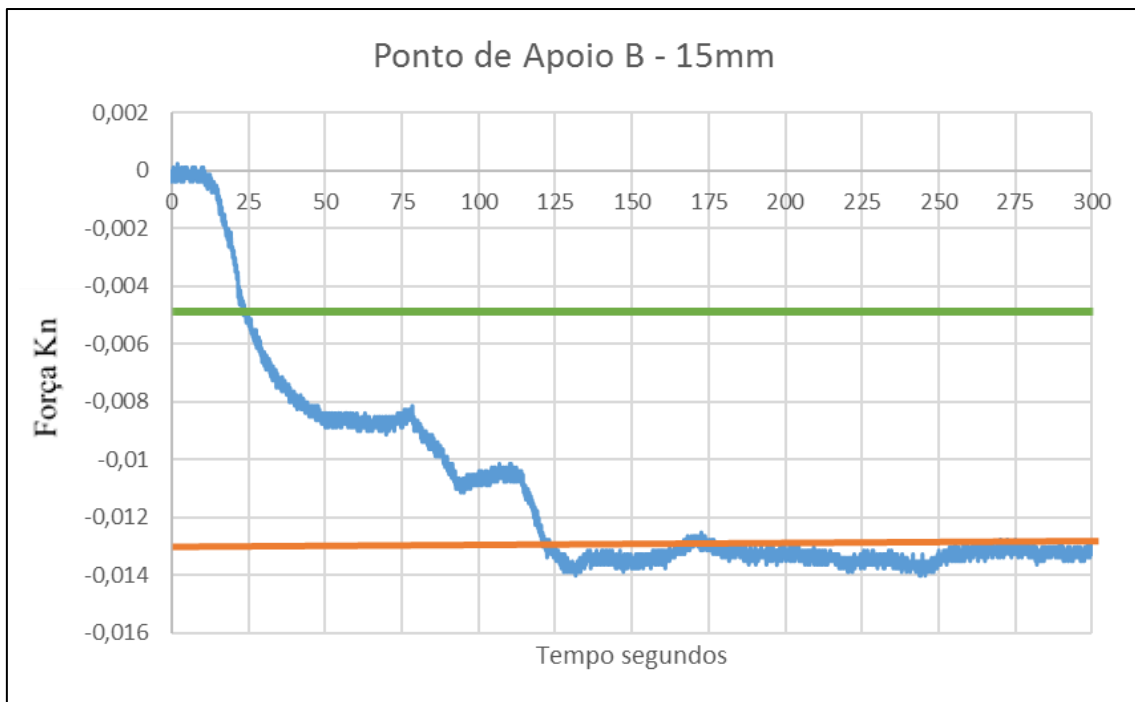


Figura 7.16 Ensaio de tração, Ponto de apoio B e alongamento inicial da mola B de 15mm

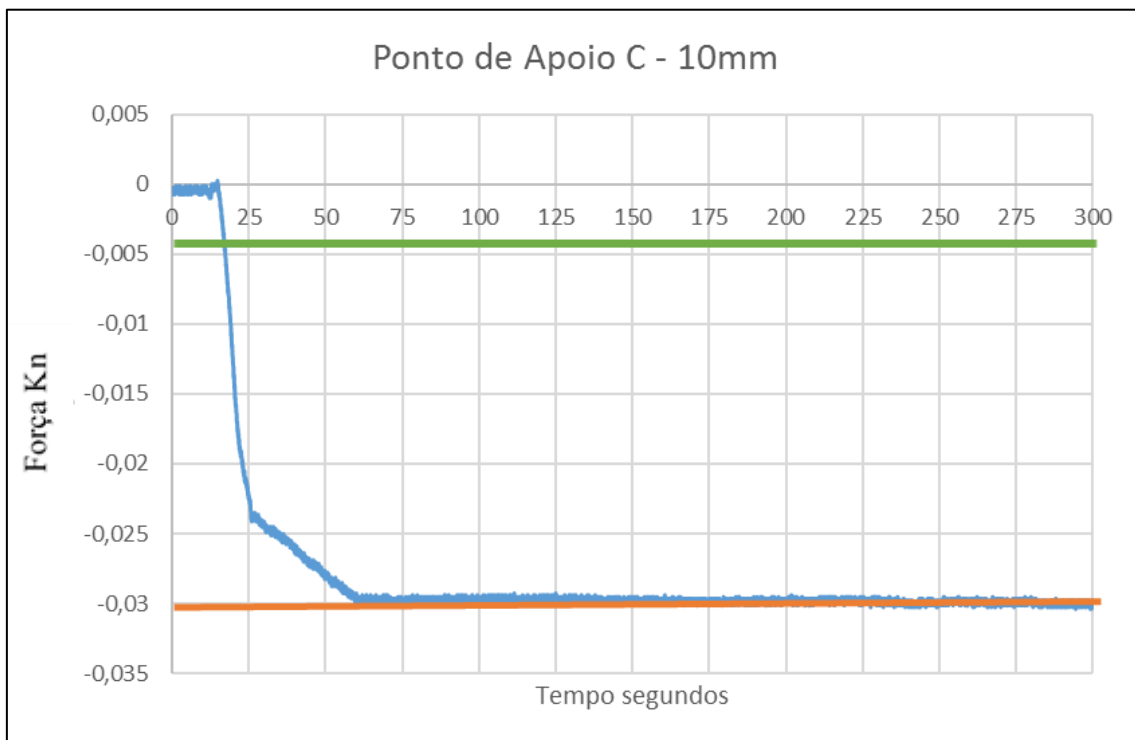


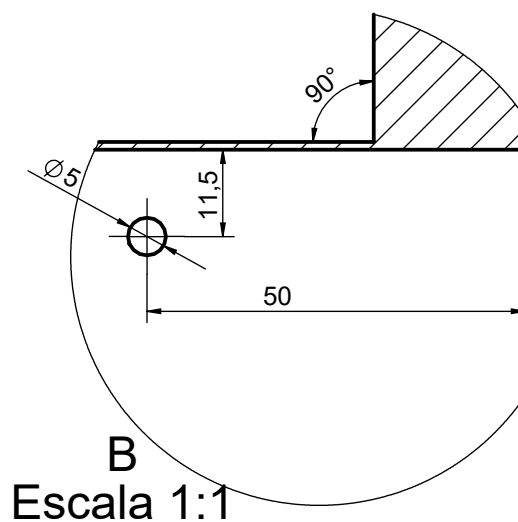
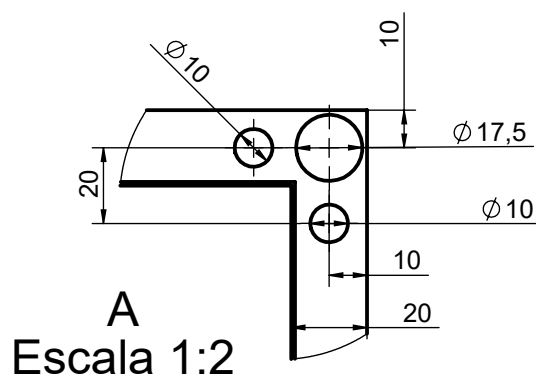
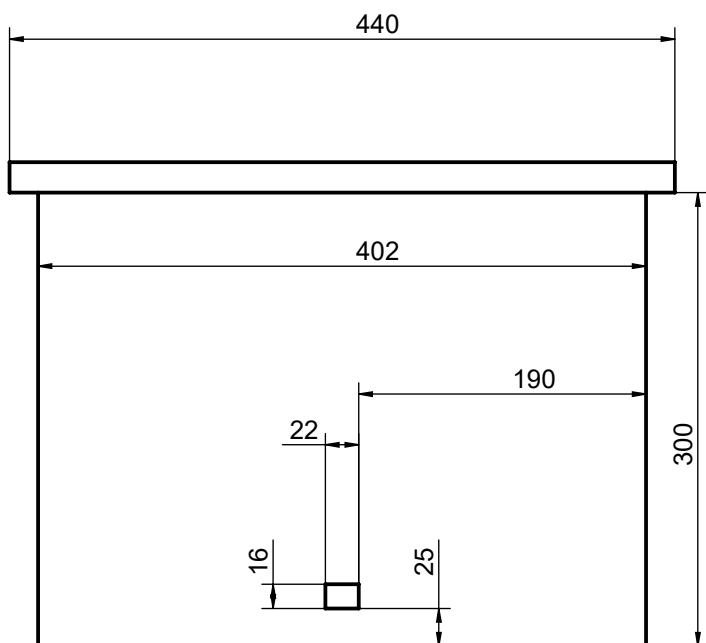
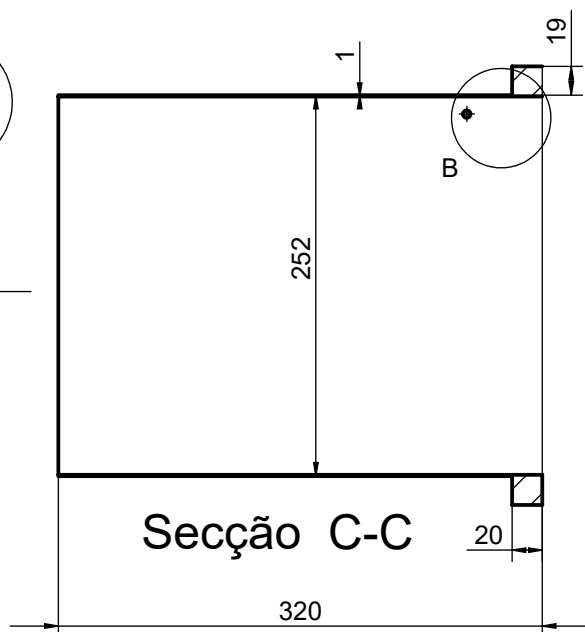
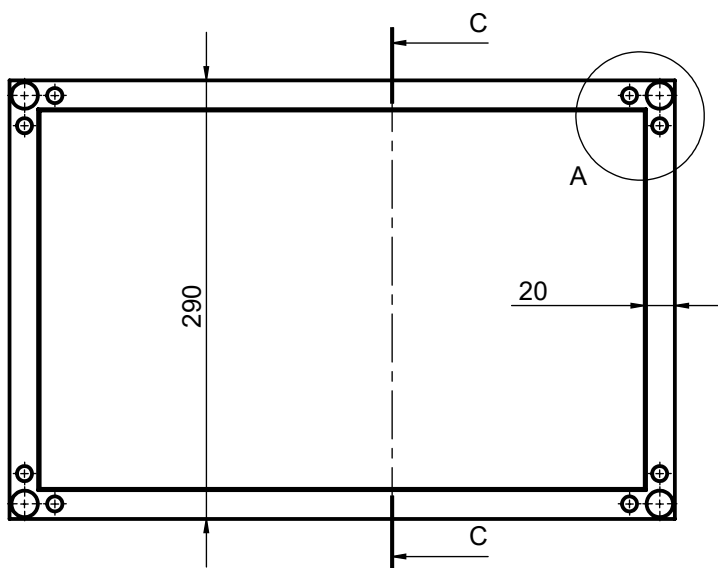
Figura 7.17 Ensaio de tração, Ponto de apoio C e alongamento inicial da mola B de 10mm

Apêndice D

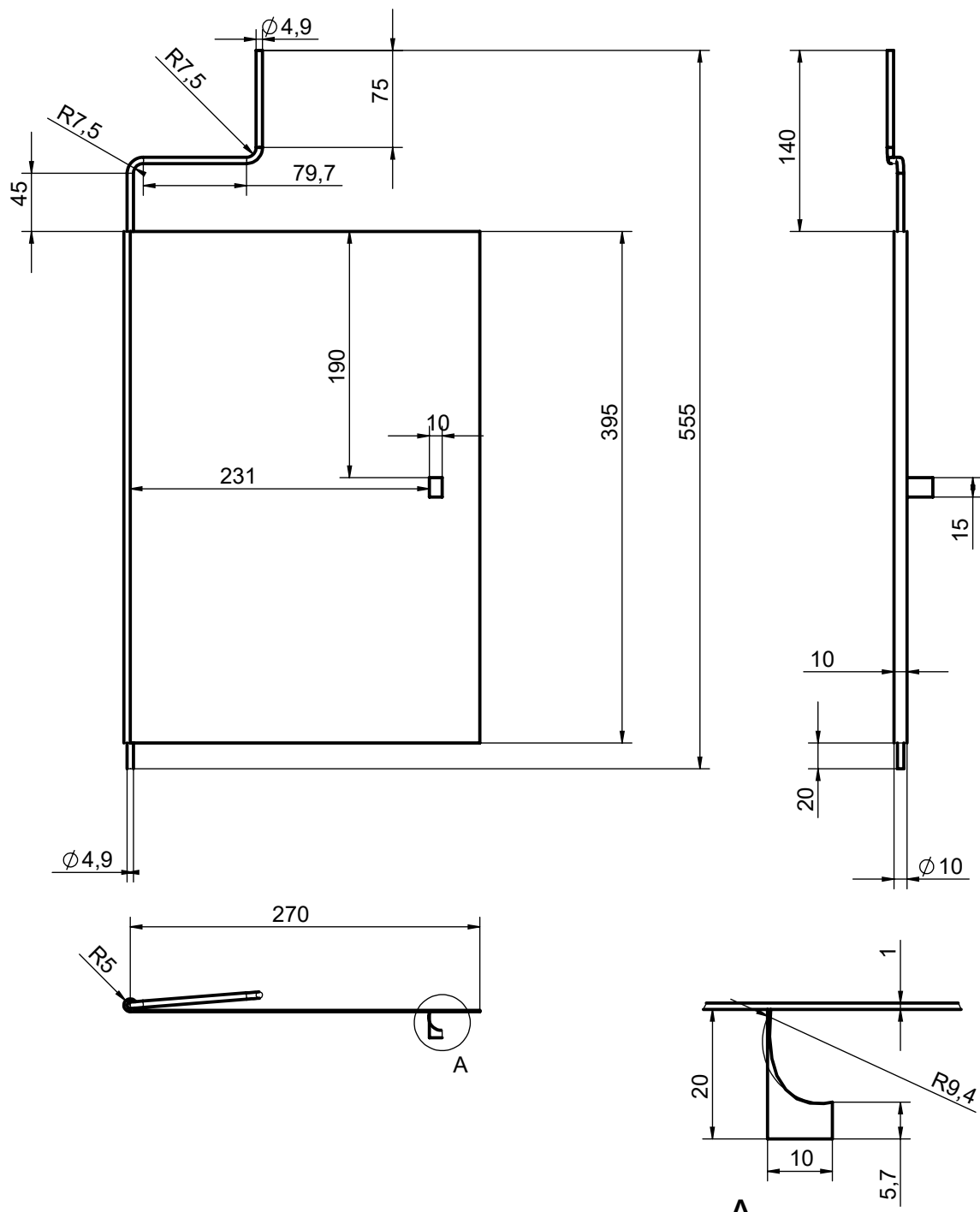
Índice Desenhos Técnicos

Conduta de Ventilação	01.26510.16
Flap	02.26510.16
Cinta da Conduta	03.26510.16
Chapa da Mola	04.26510.16
Ponto de Apoio	05.26510.16
Maquete	06.26510.16
Varão da Mola	07.26510.16
Mola A – Ni-Ti.....	08.26510.16
Conduta Completa	10.26510.16

Proj.		
Des.		
Copiou		
Visto		

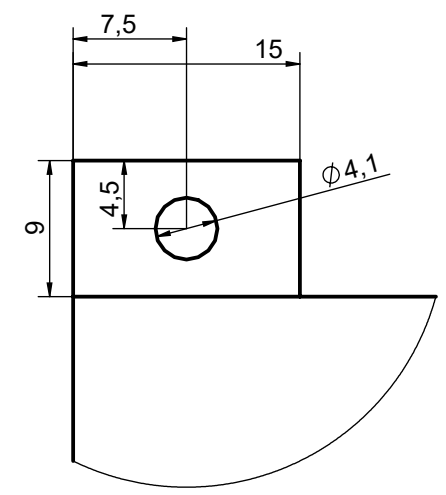
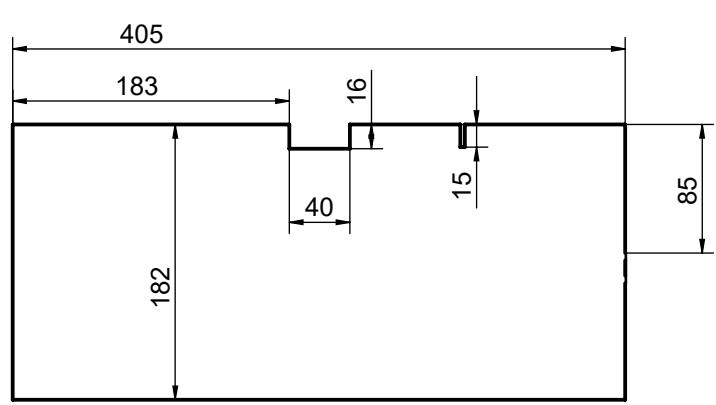
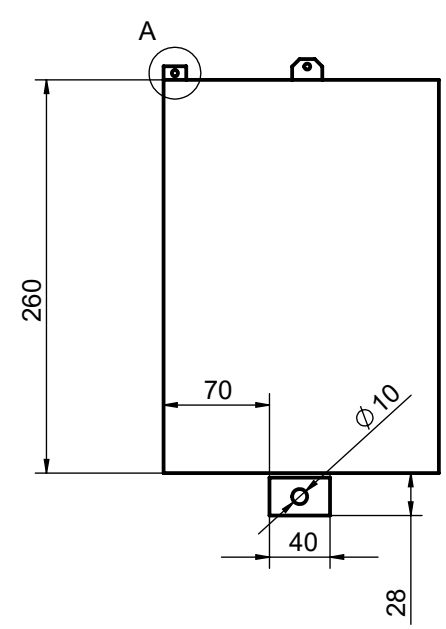
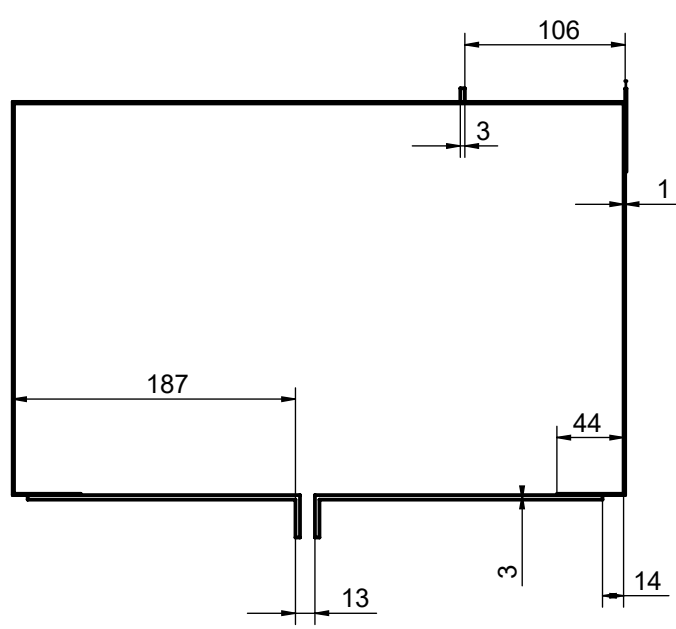


Proj.			
Des.			
Copiou			
Visto			



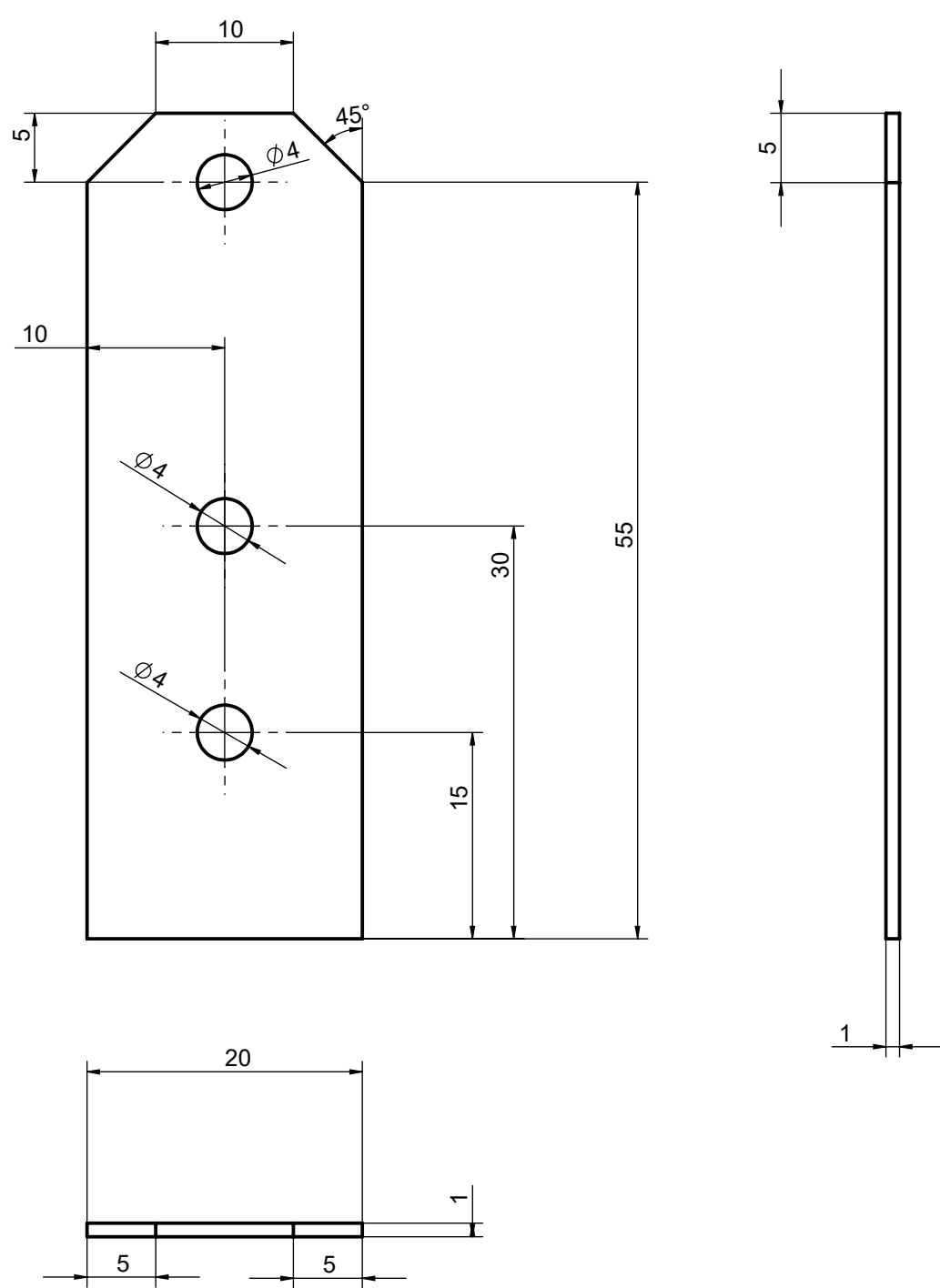
A
Escala 1:1

Proj.				
Des.				
Copiou				
Visto				

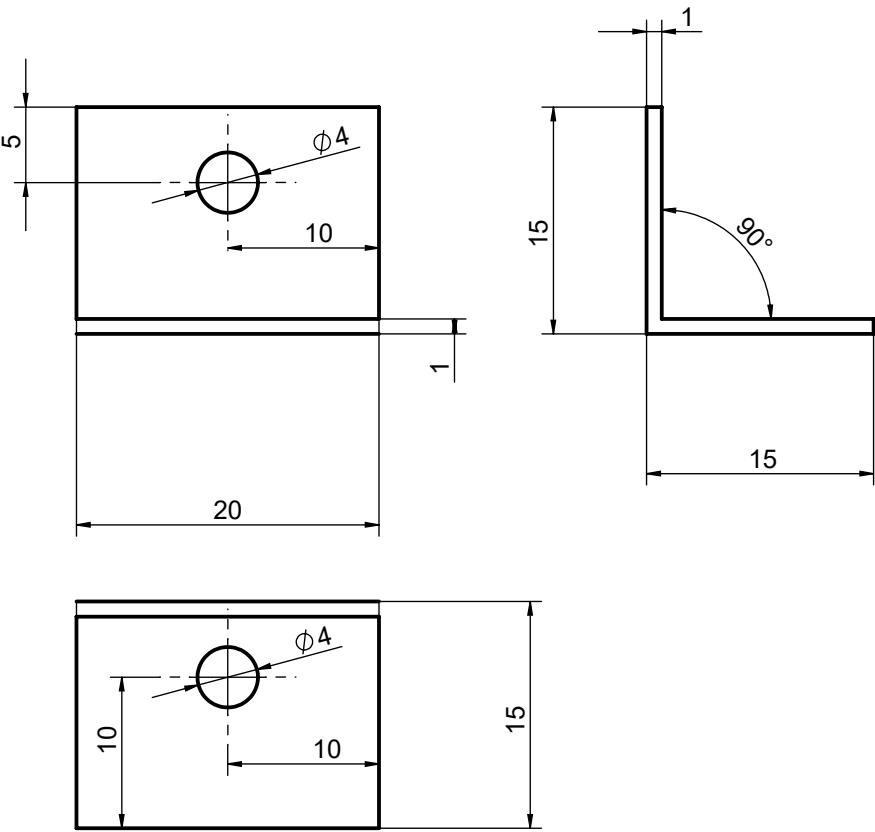


A
Escala 2:1

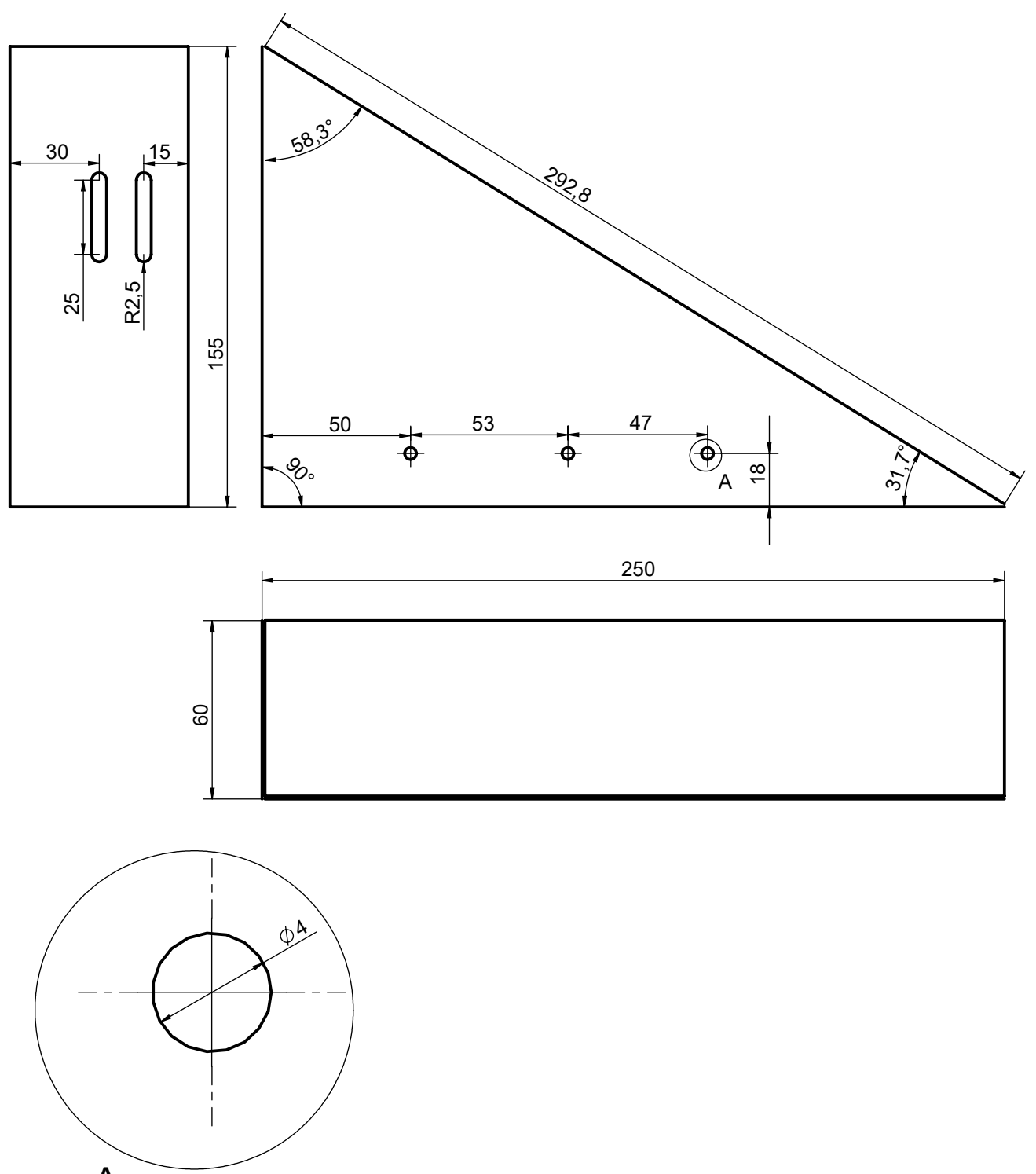
Proj.				
Des.				
Copiou				
Visto				



Proj.				
Des.				
Copiou				
Visto				

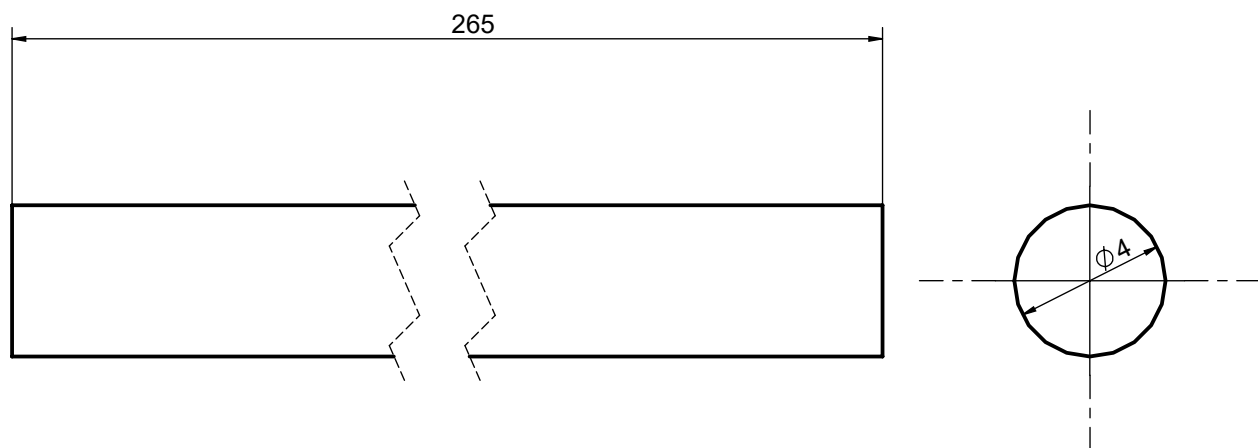


Proj.				
Des.				
Copiou				
Visto				

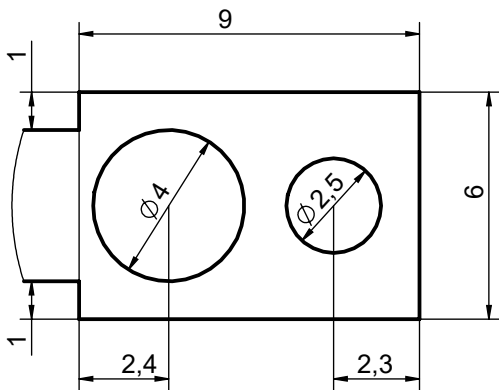
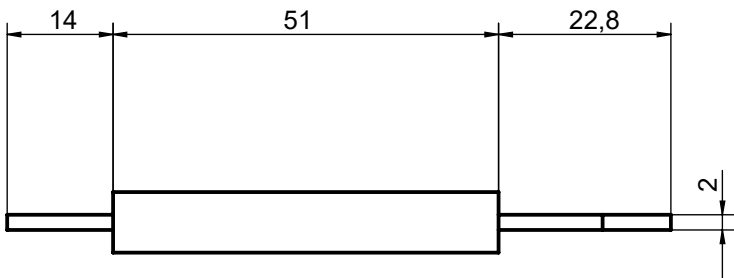
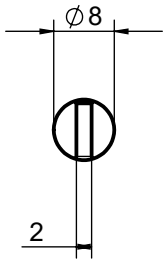
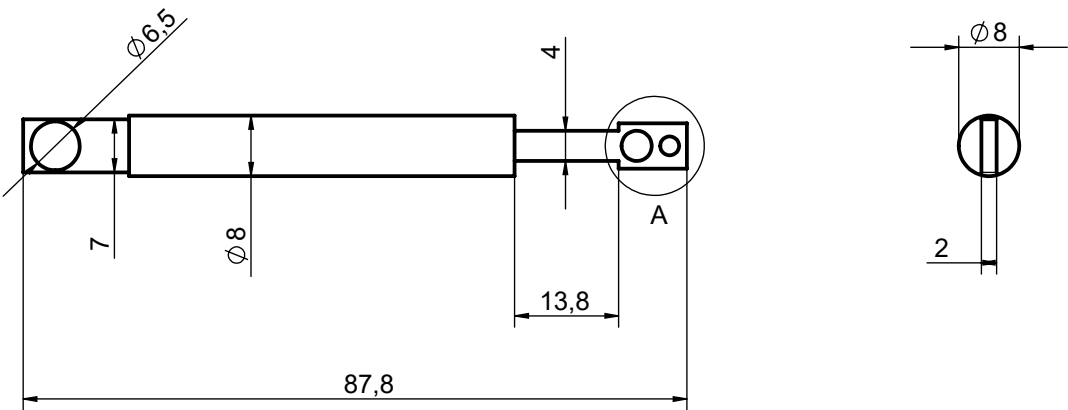


A
Escala 5:1

Proj.				
Des.				
Copiou				
Visto				

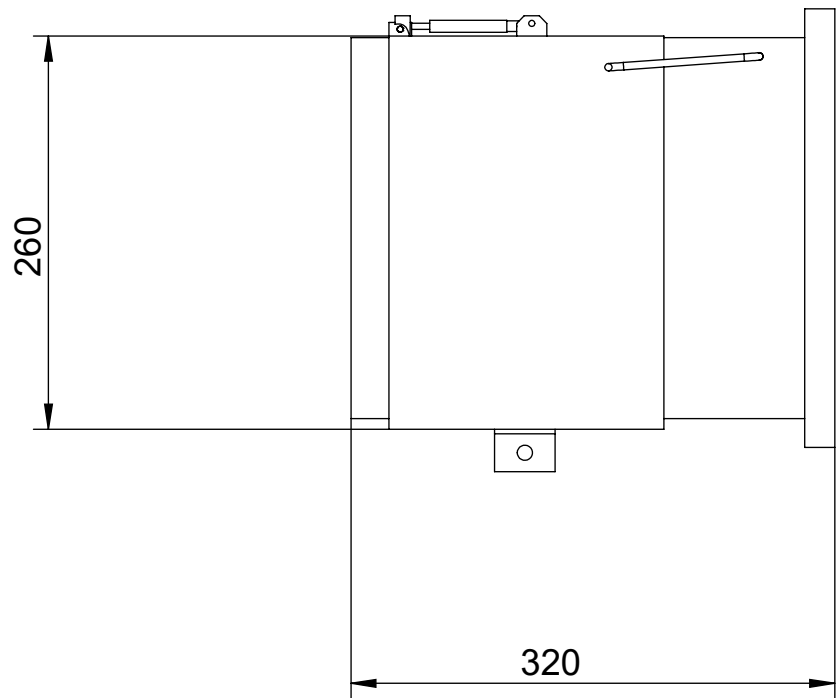
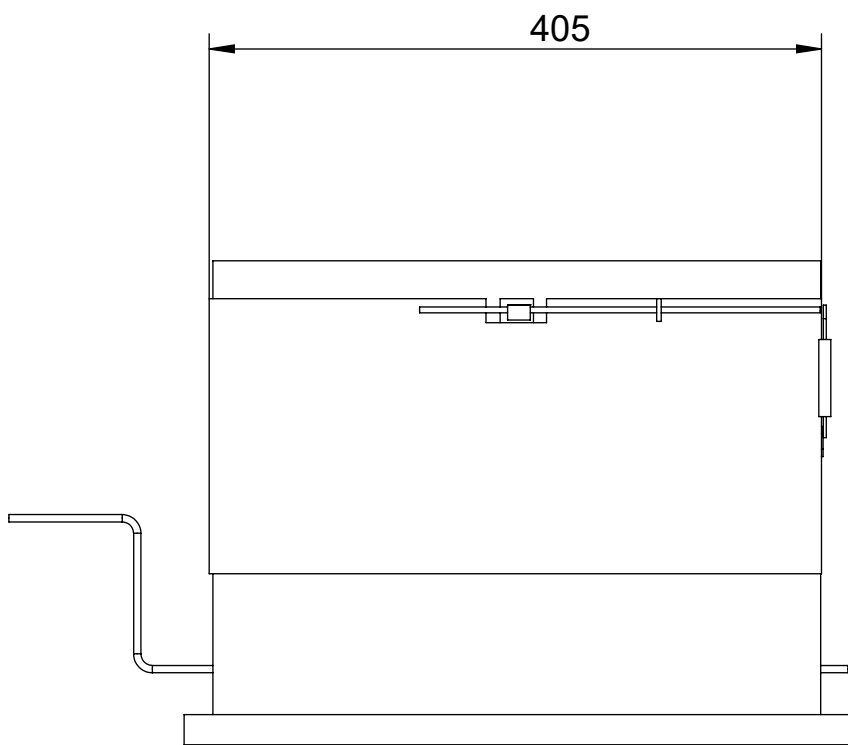
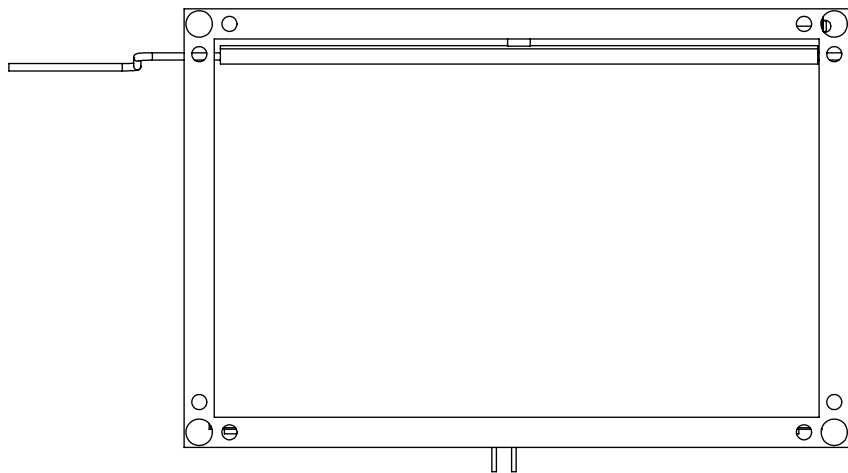


Proj.			
Des.			
Copiou			
Visto			



A
Escala 5:1

SolidWorks Student Edition For Academic Use Only.	1:1	Mola A -Ni-Ti	08.26510.16					



SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.

1	Mola A - Ni-Ti	08.26510.16		8			
1	Varão-mola	07.26510.16		7			
1	Ponto de Apoio	05.26510.16		5			
1	Chapa da mola	04.26510.16		4			
1	Cinta da Conduta	03.26510.16		3			
1	Flap	02.26510.16		2			
1	Conduta Ventilação	01.26510.16		1			
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF.	PRODUTO SEMI ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES

	Proj.							
	Des.							
	Copiou							
	Visto							
	Escala	Conduta de Ventilação			10.26510.16			
1:5								
Toleran.								